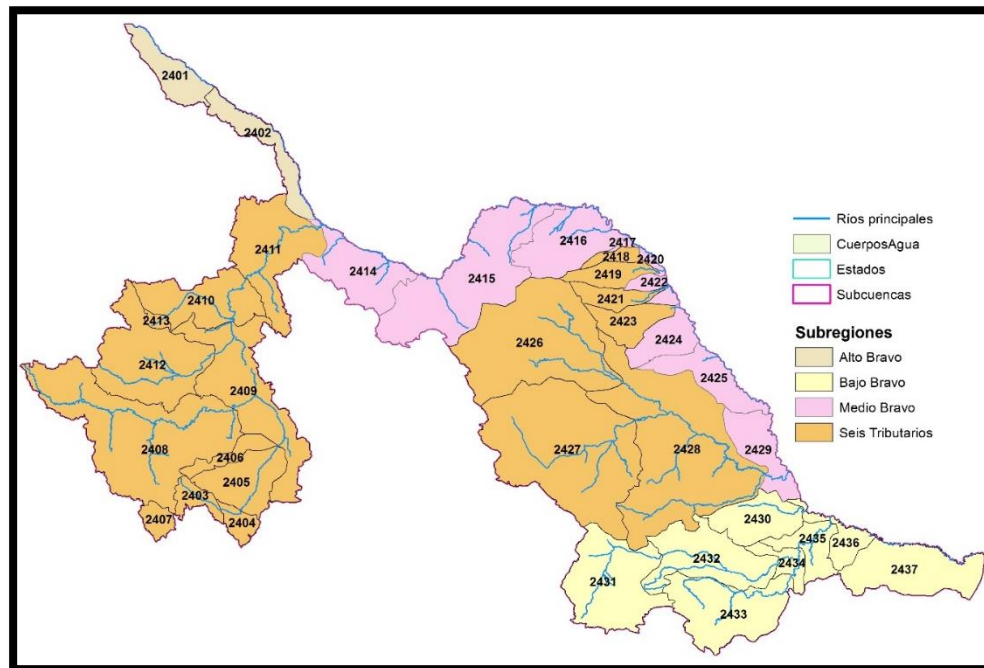




**TH1712.1 ESTRATEGIA NACIONAL DE SEGURIDAD
HÍDRICA PARA EL MANEJO DE AGUAS
TRANSFRONTERIZAS MÉXICO-EUA**

INFORME FINAL



2017

Contenido

INTRODUCCIÓN	¡Error! Marcador no definido.
□ Red Hidrográfica	24
1. IDENTIFICACIÓN DE CUENCAS Y ACUÍFEROS TRANSFRONTERIZOS.....	25
1.1 VALLE DE JUÁREZ.....	30
1.1.1 INFORMACIÓN GENERAL	30
1.1.2 FISIOGRAFÍA	31
1.1.3 CLIMA	32
1.1.4 GEOLOGÍA	32
1.1.5 HIDROGEOLOGÍA.....	33
1.2 VALLE DEL PESO	37
1.2.1 INFORMACIÓN GENERAL	37
1.2.2 FISIOGRAFÍA	38
1.2.3 CLIMA	39
1.2.4 GEOLOGÍA	39
1.2.5 HIDROGEOLOGÍA.....	41
1.3 BAJO RÍO CONCHOS	42
1.3.1 INFORMACIÓN GENERAL	42
1.3.2 FISIOGRAFÍA	43
1.3.3 CLIMA	44
1.3.4 GEOLOGÍA	44
1.3.5 HIDROGEOLOGÍA.....	45
1.4 ALAMO CHAPO.....	46
1.4.1 INFORMACIÓN GENERAL	46
1.4.2 FISIOGRAFÍA	47
1.4.3 CLIMA	48
1.4.4 GEOLOGÍA	48
1.4.5 HIDROGEOLOGÍA.....	49
1.5 MANUEL BENAVIDES	49
1.5.1 INFORMACIÓN GENERAL	49
1.5.2 FISIOGRAFÍA	50
1.5.3 CLIMA	51
1.5.4 GEOLOGÍA	51
1.5.5 HIDROGEOLOGÍA.....	53
1.6 SANTA FE DEL PINO	53

1.6.1	INFORMACIÓN GENERAL	53
1.6.2	FISIOGRAFÍA	54
1.6.3	CLIMA	55
1.6.4	GEOLOGÍA	55
1.6.5	HIDROGEOLOGÍA.....	58
1.7	SERRANÍA DEL BURRO	59
1.7.1	INFORMACIÓN GENERAL	59
1.7.2	FISIOGRAFÍA	60
1.7.3	CLIMA	61
1.7.4	GEOLOGÍA	61
1.7.5	HIDROGEOLOGÍA.....	63
1.8	CERRO COLORADO – LA PARTIDA.....	64
1.8.1	INFORMACIÓN GENERAL	64
1.8.2	FISIOGRAFÍA	65
1.8.3	CLIMA	65
1.8.4	GEOLOGÍA	65
1.8.5	HIDROGEOLOGÍA.....	66
1.9	PRESA LA AMISTAD.....	67
1.9.1	INFORMACIÓN GENERAL	67
1.9.2	FISIOGRAFÍA	68
1.9.3	CLIMA	68
1.9.4	GEOLOGÍA	68
1.9.5	HIDROGEOLOGÍA.....	69
1.10	PALESTINA	69
1.10.1	INFORMACIÓN GENERAL	69
1.10.2	FISIOGRAFÍA	70
1.10.3	CLIMA	70
1.10.4	GEOLOGÍA	71
1.10.5	HIDROGEOLOGÍA.....	72
1.11	ALLENDE – PIEDRAS NEGRAS	73
1.11.1	INFORMACIÓN GENERAL	73
1.11.2	FISIOGRAFÍA	73
1.11.3	CLIMA	74
1.11.4	GEOLOGÍA	74
1.11.5	HIDROGEOLOGÍA.....	76

1.12	HIDALGO.....	79
1.12.1	INFORMACIÓN GENERAL	79
1.12.2	FISIOGRAFÍA	80
1.12.3	CLIMA.....	80
1.12.4	GEOLOGÍA	81
1.12.5	HIDROGEOLOGÍA.....	81
1.13	LAMPAZOS – ANÁHUAC	82
1.13.1	INFORMACIÓN GENERAL	82
1.13.2	FISIOGRAFÍA	83
1.13.3	CLIMA.....	84
1.13.4	GEOLOGÍA	84
1.13.5	HIDROGEOLOGÍA.....	85
1.14	BAJO RÍO BRAVO.....	87
1.14.1	INFORMACIÓN GENERAL	87
1.14.2	FISIOGRAFÍA	88
1.14.3	CLIMA.....	88
1.14.4	GEOLOGÍA	89
1.14.5	HIDROGEOLOGÍA.....	90
1.15	AGUALEGUAS - RAMONES.....	97
1.15.1	INFORMACIÓN GENERAL	97
1.15.2	FISIOGRAFÍA	97
1.15.3	GEOLOGÍA	97
1.15.4	HIDROGEOLOGÍA.....	97
1.16	ALDAMA – SAN DIEGO.....	98
1.16.1	INFORMACIÓN GENERAL	98
1.16.2	FISIOGRAFÍA	99
1.16.3	GEOLOGÍA	99
1.16.4	HIDROGEOLOGÍA.....	100
1.17	ALTO RÍO SAN PEDRO	102
1.17.1	INFORMACIÓN GENERAL	102
1.17.2	FISIOGRAFÍA	103
1.17.3	GEOLOGÍA	103
1.17.4	HIDROGEOLOGÍA.....	103
1.18	ÁREA METROPOLITANA DE MONTERREY	105
1.18.1	INFORMACIÓN GENERAL	105

1.18.2	FISIOGRAFÍA	105
1.18.3	GEOLOGÍA	105
1.18.4	HIDROGEOLOGÍA.....	106
<i>1.19</i>	<i>BOCOYNA</i>	<i>106</i>
1.19.1	INFORMACIÓN GENERAL	106
1.19.2	FISIOGRAFÍA	106
1.19.3	GEOLOGÍA	107
1.19.4	HIDROGEOLOGÍA.....	107
<i>1.20</i>	<i>CABRERA - OCAMPO.....</i>	<i>107</i>
1.20.1	INFORMACIÓN GENERAL	107
1.20.2	FISIOGRAFÍA	108
1.20.3	GEOLOGÍA	108
1.20.4	HIDROGEOLOGÍA.....	108
<i>1.21</i>	<i>CAMPO BUENOS AIRES</i>	<i>111</i>
1.21.1	INFORMACIÓN GENERAL	111
1.21.2	FISIOGRAFÍA	111
1.21.3	GEOLOGÍA	111
1.21.4	HIDROGEOLOGÍA.....	112
<i>1.22</i>	<i>CAMPO CERRITOS</i>	<i>113</i>
1.22.1	INFORMACIÓN GENERAL	113
1.22.2	FISIOGRAFÍA	113
1.22.3	GEOLOGÍA	113
1.22.4	HIDROGEOLOGÍA.....	113
<i>1.23</i>	<i>CAMPO DURAZNO</i>	<i>114</i>
1.23.1	INFORMACIÓN GENERAL	114
1.23.2	FISIOGRAFÍA	114
1.23.3	GEOLOGÍA	114
1.23.4	HIDROGEOLOGÍA.....	115
<i>1.24</i>	<i>CAMPO JARITAS.....</i>	<i>116</i>
1.24.1	INFORMACIÓN GENERAL	116
1.24.2	FISIOGRAFÍA	116
1.24.3	GEOLOGÍA	116
1.24.4	HIDROGEOLOGÍA.....	116
<i>1.25</i>	<i>CAMPO MINA</i>	<i>117</i>
1.25.1	INFORMACIÓN GENERAL	117

1.25.2	FISIOGRAFÍA	117
1.25.3	GEOLOGÍA	117
1.25.4	HIDROGEOLOGÍA.....	118
<i>1.26</i>	<i>CAMPO PAPAGAYOS.....</i>	<i>119</i>
1.26.1	INFORMACIÓN GENERAL	119
1.26.2	FISIOGRAFÍA	119
1.26.3	GEOLOGÍA	120
1.26.4	HIDROGEOLOGÍA.....	120
<i>1.27</i>	<i>CAMPO TOPO CHICO.....</i>	<i>121</i>
1.27.1	INFORMACIÓN GENERAL	121
1.27.2	FISIOGRAFÍA	121
1.27.3	GEOLOGÍA	121
1.27.4	HIDROGEOLOGÍA.....	122
<i>1.28</i>	<i>CAÑÓN DEL DERRAMADERO</i>	<i>122</i>
1.28.1	INFORMACIÓN GENERAL	122
1.28.2	FISIOGRAFÍA	122
1.28.3	GEOLOGÍA	122
1.28.4	HIDROGEOLOGÍA.....	123
<i>1.29</i>	<i>CAÑÓN DEL HUAJUCO</i>	<i>125</i>
1.29.1	INFORMACIÓN GENERAL	125
1.29.2	FISIOGRAFÍA	126
1.29.3	GEOLOGÍA	126
1.29.4	HIDROGEOLOGÍA.....	126
<i>1.30</i>	<i>CARICHI-NONOAVA.....</i>	<i>129</i>
1.30.1	INFORMACIÓN GENERAL	129
1.30.2	FISIOGRAFÍA	129
1.30.3	GEOLOGÍA	130
1.30.4	HIDROGEOLOGÍA.....	130
<i>1.31</i>	<i>CASTAÑOS.....</i>	<i>130</i>
1.31.1	INFORMACIÓN GENERAL	130
1.31.2	FISIOGRAFÍA	131
1.31.3	GEOLOGÍA	131
1.31.4	HIDROGEOLOGÍA.....	131
<i>1.32</i>	<i>CHIHUAHUA - SACRAMENTO.....</i>	<i>134</i>
1.32.1	INFORMACIÓN GENERAL	134

1.32.2	FISIOGRAFÍA	135
1.32.3	GEOLOGÍA	135
1.32.4	HIDROGEOLOGÍA.....	135
<i>1.33</i>	<i>CHINA – GENERAL BRAVO.....</i>	<i>139</i>
1.33.1	INFORMACIÓN GENERAL	139
1.33.2	FISIOGRAFÍA	140
1.33.3	GEOLOGÍA	140
1.33.4	HIDROGEOLOGÍA.....	141
<i>1.34</i>	<i>CITRÍCOLA NORTE</i>	<i>142</i>
1.34.1	INFORMACIÓN GENERAL	142
1.34.2	FISIOGRAFÍA	142
1.34.3	GEOLOGÍA	142
1.34.4	HIDROGEOLOGÍA.....	143
<i>1.35</i>	<i>CUATROCIÉNEGAS.....</i>	<i>144</i>
1.35.1	INFORMACIÓN GENERAL	144
1.35.2	FISIOGRAFÍA	144
1.35.3	GEOLOGÍA	144
1.35.4	HIDROGEOLOGÍA.....	144
<i>1.36</i>	<i>CARMEN – SALINAS - VICTORIA</i>	<i>145</i>
1.36.1	INFORMACIÓN GENERAL	145
1.36.2	FISIOGRAFÍA	145
1.36.3	GEOLOGÍA	145
1.36.4	HIDROGEOLOGÍA.....	145
<i>1.37</i>	<i>GENERAL CEPEDA-SAUCEDO</i>	<i>148</i>
1.37.1	INFORMACIÓN GENERAL	148
1.37.2	FISIOGRAFÍA	149
1.37.3	GEOLOGÍA	149
1.37.4	HIDROGEOLOGÍA.....	149
<i>1.38</i>	<i>JIMÉNEZ - CAMARGO</i>	<i>150</i>
1.38.1	INFORMACIÓN GENERAL	150
1.38.2	FISIOGRAFÍA	150
1.38.3	GEOLOGÍA	150
1.38.4	HIDROGEOLOGÍA.....	151
<i>1.39</i>	<i>LAMPAZOS – VILLA ALDAMA.....</i>	<i>153</i>
1.39.1	INFORMACIÓN GENERAL	153

1.39.2	FISIOGRAFÍA	153
1.39.3	GEOLOGÍA	153
1.39.4	HIDROGEOLOGÍA.....	153
<i>1.40</i>	<i>MEOQUI-DELICIAS</i>	<i>155</i>
1.40.1	INFORMACIÓN GENERAL	155
1.40.2	FISIOGRAFÍA	155
1.40.3	GEOLOGÍA	155
1.40.4	HIDROGEOLOGÍA.....	155
<i>1.41</i>	<i>MONCLOVA.....</i>	<i>161</i>
1.41.1	INFORMACIÓN GENERAL	161
1.41.2	FISIOGRAFÍA	161
1.41.3	GEOLOGÍA	161
1.41.4	HIDROGEOLOGÍA.....	161
<i>1.42</i>	<i>PAREDÓN.....</i>	<i>164</i>
1.42.1	INFORMACIÓN GENERAL	164
1.42.2	FISIOGRAFÍA	164
1.42.3	GEOLOGÍA	165
1.42.4	HIDROGEOLOGÍA.....	165
<i>1.43</i>	<i>PARRAL – VALLE DEL VERANO.....</i>	<i>170</i>
1.43.1	INFORMACIÓN GENERAL	170
1.43.2	FISIOGRAFÍA	170
1.43.3	GEOLOGÍA	170
1.43.4	HIDROGEOLOGÍA.....	171
<i>1.44</i>	<i>POTRERO DEL LLANO</i>	<i>173</i>
1.44.1	INFORMACIÓN GENERAL	173
1.44.2	FISIOGRAFÍA	174
1.44.3	GEOLOGÍA	174
1.44.4	HIDROGEOLOGÍA.....	174
<i>1.45</i>	<i>PROVIDENCIA.....</i>	<i>178</i>
1.45.1	INFORMACIÓN GENERAL	178
1.45.2	FISIOGRAFÍA	178
1.45.3	GEOLOGÍA	178
1.45.4	HIDROGEOLOGÍA.....	178
<i>1.46</i>	<i>REGIÓN CARBONÍFERA.....</i>	<i>180</i>
1.46.1	INFORMACIÓN GENERAL	180

1.46.2	FISIOGRAFÍA	181
1.46.3	GEOLOGÍA	181
1.46.4	HIDROGEOLOGÍA.....	181
<i>1.47</i>	<i>REGIÓN MANZANERA – ZAPALANIMÉ</i>	<i>184</i>
1.47.1	INFORMACIÓN GENERAL	184
1.47.2	FISIOGRAFÍA	184
1.47.3	GEOLOGÍA	184
1.47.4	HIDROGEOLOGÍA.....	184
<i>1.48</i>	<i>SABINAS - PARÁS.....</i>	<i>185</i>
1.48.1	INFORMACIÓN GENERAL	185
1.48.2	FISIOGRAFÍA	185
1.48.3	GEOLOGÍA	185
1.48.4	HIDROGEOLOGÍA.....	186
<i>1.49</i>	<i>SALTILLO – RAMOS ARIZPE.....</i>	<i>187</i>
1.49.1	INFORMACIÓN GENERAL	187
1.49.2	FISIOGRAFÍA	187
1.49.3	GEOLOGÍA	187
1.49.4	HIDROGEOLOGÍA.....	187
<i>1.50</i>	<i>SAN FELIPE DE JESÚS</i>	<i>189</i>
1.50.1	INFORMACIÓN GENERAL	189
1.50.2	FISIOGRAFÍA	190
1.50.3	GEOLOGÍA	190
1.50.4	HIDROGEOLOGÍA.....	190
<i>1.51</i>	<i>TABALAOPA-ALDAMA.....</i>	<i>191</i>
1.51.1	INFORMACIÓN GENERAL	191
1.51.2	FISIOGRAFÍA	191
1.51.3	GEOLOGÍA	191
1.51.4	HIDROGEOLOGÍA.....	192
<i>1.52</i>	<i>TORREÓN DE CAÑAS</i>	<i>195</i>
1.52.1	INFORMACIÓN GENERAL	195
1.52.2	FISIOGRAFÍA	195
1.52.3	GEOLOGÍA	195
1.52.4	HIDROGEOLOGÍA.....	195
<i>1.53</i>	<i>VALLE DE ZARAGOZA</i>	<i>196</i>
1.53.1	INFORMACIÓN GENERAL	196

1.53.2	FISIOGRAFÍA	196
1.53.3	GEOLOGÍA	196
1.53.4	HIDROGEOLOGÍA.....	197
1.54	VILLALBA.....	197
1.54.1	INFORMACIÓN GENERAL	197
1.54.2	FISIOGRAFÍA	198
1.54.3	GEOLOGÍA	198
1.54.4	HIDROGEOLOGÍA.....	199
2.	MANEJO DE LA INFORMACIÓN A TRAVÉS DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.....	241
2.1	SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA UTILIZADO	242
2.2	MODELO DE DATOS ARCHYDRO.....	243
2.3	INFORMACIÓN GEOGRÁFICA ACTUALIZADA	246
2.4	ESTRUCTURA DE LA COBERTURAS ACTUALIZADAS.....	253
3.	EDICIÓN DE LIBRO SOBRE FLUJOS DEL AGUA SUBTERRÁNEA.....	279
4.	ESTUDIOS REQUERIDOS PARA ACTUALIZAR LA CALIDAD Y DISPONIBILIDAD DEL AGUA	279
4.1	RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE LA BASE DE DATOS REPDA	280
4.1.1	Metodología para la revisión de la base de datos REPDA.....	282
4.1.2	Criterios para asignación de la clave de la cuenca	287
4.1.3	Herramienta para la asignación de cuenca hidrológica a la BD REPDA.....	287
4.1.4	Requerimientos.....	287
4.1.5	Generación del proyecto GIS	287
4.1.6	Elaboración de scripts de programación	288
4.1.7	Integración de la herramienta al proyecto GIS.....	292
4.1.8	RESULTADOS	292
4.1.9	Conclusiones	293
5.	ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA.....	293
5.1	EVALUACIÓN HISTÓRICA DE LA CALIDAD DEL AGUA.....	293
5.2	ESTACIONES DE MONITOREO	294
5.3	METODOLOGÍA DE ANÁLISIS.....	294
5.3.1	Información de calidad del agua histórica.....	298
5.3.2	Resultados de cargas	308
5.4	PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	315

5.5	APLICACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA CCME WATER QUALITY INDEX	319
5.5.1	Información base	320
5.5.2	Resultados	320
5.5.3	Análisis de resultados	324
5.5.4	Análisis multivariado de calidad del agua.....	327
5.5.5	Conclusiones	332
5.5.6	Propuesta de Estrategias.....	333
5.6	AGUA SUBTERRÁNEA	333
5.6.1	EFFECTOS OCASIONADOS EN EL ABATIMIENTO DE NIVELES	337
6.	ANÁLISIS DEL CRECIMIENTO DE LA DEMANDA DE AGUA PARA USO POTABLE, INDUSTRIAL Y AGRÍCOLA EN LA CUENCA DEL RÍO BRAVO.....	345
6.1	ANÁLISIS DEL CRECIMIENTO DE LA DEMANDA DE AGUA PARA USO POTABLE EN LA CUENCA DEL RÍO BRAVO	346
	Estado.....	346
	Municipios.....	346
	Total	346
	144.....	346
6.1.2.1	Proyección del crecimiento de las zonas metropolitanas de las poblaciones de los municipios del Río Bravo 2010-2030	348
6.1.3	Proyección de la demanda de agua potable de las poblaciones del Río Bravo 2010-2030	350
6.1.3.1	Proyección del crecimiento de la demanda de agua potable de las zonas metropolitanas de las poblaciones de los municipios del Río Bravo 2010-2030.....	351
6.2	ANÁLISIS DEL CRECIMIENTO DE LA DEMANDA DE AGUA PARA USO INDUSTRIAL EN LA CUENCA DEL RÍO BRAVO	352
6.2.1	Volumen anual concesionado de Agua Subterránea para Uso Industrial del Río Bravo	352
6.2.2	Volumen anual concesionado de Agua Superficial para Uso Industrial del Río Bravo.	354
6.2.3	Volumen anual concesionado de Agua para Uso Industrial en la Cuenca del Río Bravo	355
6.3	ANÁLISIS DEL CRECIMIENTO DE LA DEMANDA DE AGUA PARA USO AGRÍCOLA EN LA CUENCA DEL RÍO BRAVO	357
6.3.1	Demanda de Agua para uso Agrícola en los Distritos de Riego del Río Bravo	358
7.	EVALUACIÓN HIDROLÓGICA DE LAS CUENCAS.....	368
7.1	COBERTURA VEGETAL	370
7.2	USOS DE AGUA.....	371

7.3	COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DE LAS APORTACIONES DE AGUA A LAS PRESAS DE ALMACENAMIENTO.....	373
7.4	CUENCA PROPIA Y ESCURRIMIENTOS AGUAS ABAJO	381
8.	EVALUACIÓN DE LOS BALANCES HIDROGEOLOGÍCOS DE ACUÍFEROS TRANSFRONTERIZOS.....	382
8.1	BALANCE GENERAL	382
8.2	DIRECCIÓN DE FLUJO.....	386
8.2.1	Agualeguas – Ramones	386
8.2.2	Alamo Chapo.....	387
8.2.3	Aldama – San Diego	388
8.2.4	Allende – Piedras Negras	390
8.2.5	Alto Río San Pedro.....	391
8.2.6	Área Metropolitana de Monterrey	393
8.2.7	Bajo Río Bravo.....	393
8.2.8	Bajo Río Conchos.....	395
8.2.9	Bocoyna.....	395
8.2.10	Cabrera – Ocampo.....	396
8.2.11	Campo Buenos Aires.....	398
8.2.12	Campo Cerritos	398
8.2.13	Campo Durazno.....	399
8.2.14	Campo Jaritas	400
8.2.15	Campo Mina.....	401
8.2.16	Campo Papagayos	403
8.2.17	Campo Topo Chico	403
8.2.18	Cañón del Derramadero	404
8.2.19	Cañón del Huajuco	406
8.2.20	Carichi – Nonoava.....	407
8.2.21	Castaños	408
8.2.22	Cerro Colorado – La Partida	410
8.2.23	Chihuahua – Sacramento.....	410
8.2.24	China – General Bravo.....	412
8.2.25	Citrícola Norte.....	413
8.2.26	Cuatrociénegas	414
8.2.27	El Carmen – Salinas – Victoria.....	415
8.2.28	General Cepeda – Saucedo.....	417

8.2.29	Hidalgo	417
8.2.30	Jiménez – Camargo	418
8.2.31	Lampazos – Anáhuac	419
8.2.32	Lampazos – Villaldama.....	420
8.2.33	Manuel Benavides	421
8.2.34	Meoqui – Delicias	422
8.2.35	Monclova.....	424
8.2.36	Palestina	425
8.2.37	Paredón.....	426
8.2.38	Parral – Valle del Verano	427
8.2.39	Potrero del Llano	429
8.2.40	Presa La Amistad	430
8.2.41	Providencia.....	431
8.2.42	Región Carbonífera	432
8.2.43	Región Manzanera – Zapaliname.....	434
8.2.44	Sabinas – Paras.....	434
8.2.45	Saltillo – Ramos Arizpe	435
8.2.46	San Felipe de Jesús.....	436
8.2.47	Santa Fe del Pino.....	437
8.2.48	Serranía del Burro	438
8.2.49	Tabalaopa – Aldama.....	438
8.2.50	Torreón de Cañas	440
8.2.51	Valle de Juárez	440
8.2.52	Valle de Zaragoza.....	442
8.2.53	Valle del Peso.....	442
8.2.54	Villalba.....	443
9.	IDENTIFICACIÓN DE POSIBLES ZONAS DE RESERVA DE AGUA	445
10.	CONTROL DE INUNDACIONES Y SEQUÍA	452
10.1	CONTROL DE INUNDACIONES.....	452
10.1.1	Ciudad Juárez, Chihuahua.....	454
10.1.2	Piedras Negras, Coahuila	456
10.1.3	Nuevo Laredo, Tamaulipas	457
10.1.4	Reynosa, Tamaulipas	459
10.1.5	Matamoros, Tamaulipas	464
10.2	ANÁLISIS DE LAS SEQUÍAS METEOROLÓGICAS	467

10.2.1	Resultados	475
11.	PROPUESTA DE UNA POLÍTICA NACIONAL PARA LA GESTIÓN DE LAS AGUAS TRANSFRONTERIZAS.....	478
11.1	PRINCIPALES PROBLEMAS QUE EXISTEN EN LA REGIÓN.	478
11.1.1	Factores que han contribuido a la situación actual de oferta y demanda.	481
11.2	REÚSO DEL AGUA	484
11.2.1	Metodología General.....	488
11.3	CONSTRUCCIÓN DE ESCENARIOS	488
11.4	IDENTIFICACIÓN DE ACCIONES	490
11.4.1	Descripción del modelo utilizado.....	498
11.5	ACCIONES QUE MAXIMICEN LA OFERTA	500
11.6	RELACION DE ACCIONES, IMPLICACIONES Y CORRESPONSABILIDAD.....	503
	REFERENCIAS.....	513

FIGURAS

Figura 1.1.	Región Hidrológica número 24 “Bravo – Conchos”	26
Figura 1.2.	Cuencas pertenecientes a la Región Hidrológica número 24 “Bravo – Conchos”	27
Figura 1.3.	Localización del acuífero Valle de Juárez	31
Figura 1.4.	Geología general del acuífero Valle de Juárez.....	33
Figura 1.5.	Profundidad al nivel estático del acuífero Valle de Juárez en m (CONAGUA, 2008)...	35
Figura 1.6.	Elevación del nivel estático del acuífero Valle de Juárez en m (CONAGUA, 2008)....	35
Figura 1.7.	Evolución del nivel estático del acuífero Valle de Juárez en m, 1990-2008 (CONAGUA, 2008)	36
Figura 1.8.	Localización del acuífero Valle del Peso.....	38
Figura 1.9.	Geología general del acuífero Valle de Juárez.....	40
Figura 1.10.	Carta Geológica-Minera H13-5 “San Antonio del Bravo”. Esc. 1:250,000 (SGM, 2003)	41
Figura 1.11.	Localización del acuífero Bajo Río Conchos.....	43
Figura 1.12.	Localización del acuífero Alamo Chapo.....	47
Figura 1.13.	Geología general del acuífero Alamo -Chapo	48
Figura 1.14.	Localización del acuífero Manuel Benavides	50
Figura 1.15.	Geología general del acuífero	52
Figura 1.16.	Localización del acuífero Santa Fe del Pino.....	54
Figura 1.17.	Geología general del acuífero Santa Fe del Pino	57
Figura 1.18.	Sección Geológica Esquemática (Fuente: Carta Geológica-Minera H13-12 “San Miguel” Esc. 1:250,000 (SGM, 2008)).....	58
Figura 1.19.	Localización del acuífero Serranía del Burro	60
Figura 1.20.	Geología general del acuífero Serranía del Burro.....	62

Figura 1.21. Secciones Geológicas Esquemáticas (Fuente: Carta Geológica-Minera E13-D38 “Cuatro Palmas”, Coahuila. Esc. 1:50,000 (SGM, 2005))	63
Figura 1.22. Localización del acuífero Cerro Colorado - La Partida	64
Figura 1.23. Geología general del acuífero	66
Figura 1.24. Localización del acuífero La Amistad	68
Figura 1.25. Geología general del acuífero	69
Figura 1.26. Localización del acuífero Palestina	70
Figura 1.27. Geología general del acuífero Palestina.....	71
Figura 1.28. Localización del acuífero Allende - Piedras Negras	73
Figura 1.29. Geología general del acuífero Allende-Piedras Negras	75
Figura 1.30. Geología del subsuelo del acuífero Allende-Piedras Negras	76
Figura 1.31. Profundidad del nivel estático.....	77
Figura 1.32. Elevación del nivel estático	78
Figura 1.33. Localización del acuífero Hidalgo	80
Figura 1.34. Geología general del acuífero	81
Figura 1.35. Localización del acuífero Lampazos - Anáhuac	83
Figura 1.36. Geología general del acuífero Lampázos-Anáhuac	85
Figura 1.37. Localización del acuífero Bajo Río Bravo	88
Figura 1.38. Geología general del acuífero Bajo Río Bravo	89
Figura 1.39. Geología del subsuelo.....	90
Figura 1.40. Unidades hidrogeológicas.....	92
Figura 1.41. Áreas seleccionadas para la elaboración de las configuraciones del Bajo Río Bravo (CONAGUA, 2006)	93
Figura 1.42. Profundidad al nivel estático en m (CONAGUA, 2006)	95
Figura 1.43. Profundidad al nivel estático en m (CONAGUA, 2006)	96
Figura 1.44. Profundidad al nivel estático en m, 2007 (CONAGUA, 2015)	101
Figura 1.45. Elevación del Nivel Estático, 2007 (CONAGUA, 2015)	102
Figura 1.46. Profundidad del nivel estático, 1985 (CONAGUA, 2002)	104
Figura 1.47. Elevación del nivel estático, 1985 (CONAGUA, 2002).....	105
Figura 1.48. Profundidad al nivel estático (m), 2010.....	110
Figura 1.49. Elevación al nivel estático (m), 2010.....	110
Figura 1.50. Elevación del nivel estático del acuífero Campo Mina, 1969.....	119
Figura 1.51. Profundidad al nivel Estático, 1984.....	124
Figura 1.52. Elevación del nivel estático, 1984	125
Figura 1.53. Profundidad del nivel estático en m (2007)	127
Figura 1.54. Elevación del nivel estático en msnm (2007)	128
Figura 1.55. Evolución del nivel estático en m. (1989 – 2007).....	129
Figura 1.56. Profundidad al nivel estático en m, 2008 (CONAGUA 2010)	132
Figura 1.57. Elevación del nivel estático en msnm, 2009, (CONAGUA, 2010)	133
Figura 1.58. Evolución del nivel estático en m (2006-2009), (CONAGUA, 2010).....	134
Figura 1.59. Profundidad al nivel estático en m (2005)	136
Figura 1.60. Profundidad al nivel estático en m (2009)	137
Figura 1.61. Elevación del nivel estático en msnm. (2005)	138
Figura 1.62. Elevación del nivel estático en msnm (2009)	139
Figura 1.63. Profundidad al nivel estático (2004).....	146
Figura 1.64. Elevación del nivel estático, 2004	147
Figura 1.65. Evolución del Nivel Estático (2003-2004)	148

Figura 1.66. Profundidad del nivel estático, 1984.....	149
Figura 1.67. Elevación de los niveles estáticos, 1984.....	150
Figura 1.68. Profundidad al nivel estático, 1996.....	157
Figura 1.69. Profundidad al nivel estático 2005.....	157
Figura 1.70. Curvas de igual elevación del nivel estático 2005.....	159
Figura 1.71. Curvas de igual elevación del nivel estático 2005 (incluye datos de curvas correspondientes al año 1972 en color verde en el sur, así como línea finamente punteada en la parte oriente de color guinda).....	160
Figura 1.72. Profundidad del nivel estático en m (2007).....	162
Figura 1.73. Elevación del nivel estático en msnm (2007).....	163
Figura 1.74. Evolución del nivel estático (2002-2007).....	164
Figura 1.75. Profundidad del nivel estático, 2006.....	167
Figura 1.76. Elevación del nivel estático (msnm), 2006.....	168
Figura 1.77. Evolución del nivel estático, 1998-2006 (CONAGUA, 2008).....	169
Figura 1.78. Profundidad del nivel estático, 1982.....	172
Figura 1.79. Elevación de los niveles estáticos. 1982.....	173
Figura 1.80. Profundidad del nivel estático en m del acuífero Potrero del Llano, 2006.....	176
Figura 1.81. Elevación del nivel estático en msnm del acuífero Potrero del Llano, 2006.....	177
Figura 1.82. Profundidad al nivel estático (m), 2010.....	179
Figura 1.83. Elevación de nivel estático (msnm), 2010.....	180
Figura 1.84. Profundidad al nivel estático (m), 2011.....	182
Figura 1.85. Elevación del nivel estático (msnm), 2011.....	183
Figura 1.86. Profundidad del nivel estático, 2007.....	188
Figura 1.87. Elevación del nivel estático, 2007.....	189
Figura 1.88. Profundidad del nivel estático, 2007.....	193
Figura 1.89. Elevación del nivel estático en msnm, 2007.....	194
Figura 1.90. Profundidad al nivel estático en m (2007).....	200
Figura 1.91. Elevación del nivel estático en msnm (2007) y celdas de flujo.....	201
Figura 2.1. Integración de información hidrológica-geográfica dentro de un SIG.....	242
Figura 2.2. Estructura de la geodatabase ArcHydro.....	244
Figura 2.3. Estructura ArcHydro y componentes de la geodatabase.....	244
Figura 2.4. Herramientas ArcHydro.....	246
Figura 2.5. Creación de corrientes virtuales en un cuerpo de agua.....	249
Figura 2.6. Documento técnico descriptivo de la red hidrográfica del SIATL.....	250
Figura 2.7. Establecimiento del orden de las corrientes en una cuenca.....	251
Figura 2.8. Visualización de todas las capas que fueron actualizadas y procesadas durante el proyecto.....	253
Figura 2.9. Capa de Estados.....	254
Figura 2.10. Capa de Municipios.....	255
Figura 2.11. Capa de Subcuencas.....	257
Figura 2.12. Capa de Acuíferos.....	258
Figura 2.13. Capa de Poblaciones Mayores.....	260
Figura 2.14. Capa de Distritos de Riego.....	261
Figura 2.15. Capa de Red Hidrográfica.....	262
Figura 2.16. Capa de Ríos Principales.....	264
Figura 2.17. Capa de Presas.....	265
Figura 2.18. Capa de Estaciones Hidrométricas.....	267

Figura 2.19. Capa de Plantas de Tratamiento.....	269
Figura 2.20. Capa de Estaciones de Calidad del Agua.....	270
Figura 2.21. Capa de Localidades	272
Figura 2.22. Capa de Aprovechamientos Superficiales	274
Figura 2.23. Capa de Aprovechamientos Subterráneos	276
Figura 2.24. Capa de Zonas Agrícolas	278
Figura 4.1. Acuíferos con poca información.....	280
Figura 4.2. Selección de registros de la región hidrológica 24 Bravo-Conchos	281
Figura 4.3. Selección de registros de la región hidrológica 24 Bravo-Conchos	282
Figura 4.4. Municipios localizados parcial o totalmente en la región hidrológica 24 Bravo-Conchos	283
Figura 4.5. Registros REPDA identificados en municipios de la región hidrológica 24 Bravo-Conchos.....	284
Figura 4.6. Localidades localizadas dentro de la región hidrológica 24 Bravo-Conchos	285
Figura 4.7. Presas, ríos y cuerpos de agua dentro de la región hidrológica 24 Bravo-Conchos	286
Figura 4.8.. Proyecto GIS, región hidrológica 24 Bravo-Conchos	288
Figura 4.9. Diagrama de flujo para búsqueda de clave de localidad.....	291
Figura 4.10. Herramientas GIS	292
Figura 5.1. Estaciones de monitoreo de la RNM de Ciudad Juárez a la desembocadura al Golfo de México.....	294
Figura 5.2. Demanda Bioquímica de Oxígeno por tramo y el indicador de calidad	300
Figura 5.3. Demanda Química de Oxígeno por tramo y el indicador de calidad	300
Figura 5.4. Sólidos Suspendidos Totales por tramo y el indicador de calidad.....	301
Figura 5.5. Sólidos Disueltos Totales por tramo y el criterio para el uso como fuente de abastecimiento de agua potable (FAAP).....	301
Figura 5.6. Oxígeno Disuelto por tramo y el criterio para el uso como fuente de abastecimiento de agua potable (FAAP).....	302
Figura 5.7. Color por tramo y el criterio para el uso como fuente de abastecimiento de agua potable (FAAP).....	302
Figura 5.8. Potencial de Hidrógeno por tramo y criterio para el uso como fuente de abastecimiento de agua potable (FAAP).....	303
Figura 5.9. Sustancias Activas al Azul de Metileno por tramo y criterio para el uso como fuente de abastecimiento de agua potable (FAAP).....	303
Figura 5.10. Nitratos por tramo y criterio para el uso como fuente de abastecimiento de agua potable (FAAP).....	304
Figura 5.11. Nitritos por tramo y criterio para el uso como fuente de abastecimiento de agua potable (FAAP).....	304
Figura 5.12. Ortofosfatos por tramo y criterio para el uso como fuente de abastecimiento de agua potable (FAAP).....	305
Figura 5.13. Cianuros por tramo	305
Figura 5.14. Mercurio por tramo, criterio FAAP y PVA (Protección de vida acuática).....	306
Figura 5.15. Níquel por tramo, criterio FAAP	306
Figura 5.16. Coliformes fecales por tramo, indicador de calidad, y criterios FAAP y PVA	307
Figura 5.17. Escherichia Coli por tramo, indicador de calidad del agua.....	307
Figura 5.18. Caudal por tramo	308
Figura 5.19. Demanda Bioquímica de Oxígeno	309
Figura 5.20. Demanda Química de Oxígeno	309

Figura 5.21. Sólidos Suspendedos Totales	310
Figura 5.22. Sólidos Disueltos Totales.....	310
Figura 5.23. Sustancias Activas al Azul de Metileno.....	311
Figura 5.24. Nitratos	311
Figura 5.25. Nitritos	312
Figura 5.26. Ortofosfatos	312
Figura 5.27. Cianuros	313
Figura 5.28. Mercurio	313
Figura 5.29. Níquel	314
Figura 5.30. Coliformes fecales	314
Figura 5.31. Escherichia Coli.....	315
Figura 5.32. Plantas de tratamiento de aguas residuales, tramo Ciudad Juárez - presa La Amistad	316
Figura 5.33. Plantas de tratamiento de aguas residuales, desde presa La Amistad a desembocadura	316
Figura 5.34. Índice de calidad del agua en el río Bravo, desde Ciudad Juárez hasta la presa La Amistad.	323
Figura 5.35. Índice de calidad del agua en el río Bravo, desde la presa La Amistad hasta la desembocadura con el Golfo de México	323
Figura 5.36. Resumen de la clasificación del ICA y la cantidad de variables que no cumplieron con el criterio para el uso en FAAP.	326
Figura 5.37. Total de análisis realizados por tramo en los 31 sitios de monitoreo.....	327
Figura 5.38. Porcentajes de análisis realizados en el cauce del río Bravo.	328
Figura 5.39. Dendograma que muestra el agrupamiento de los sitios de monitoreo del río Bravo.	329
Figura 5.40. Gráfica que representa la acumulación de la variabilidad de los factores (eigenvalores).	330
Figura 5.41. Carga factorial (F1 y F2) de las variables relacionadas en el río Bravo.	330
Figura 5.42. Componentes principales y su correlación con las variables y observaciones en el río Bravo.	332
Figura 5.6.1. Tipos de acuíferos.....	336
Figura 5.6.2. Principales zonas de sobreexplotación de acuíferos	337
Figura 5.6.3. Acuíferos con problemas de calidad del agua.....	340
Figura 5.6.4. Comportamiento de la dureza total en agua subterránea	341
Figura 5.6.5. Salinización.....	342
Figura 6.1. Estados que forman parte de la Cuenca del Río Bravo.....	345
Figura 6.2. Crecimiento de la población del Río Bravo, 2010 al 2030	347
Figura 6.3. Crecimiento de la población por estados del Río Bravo, 2010 al 2030	347
Figura 6.5. Crecimiento de la demanda de agua de las poblaciones del Río Bravo, al 2030	350
Figura 6.6. Porcentaje del Volumen anual concesionado de Agua Subterránea para Uso Industrial del Río Bravo	353
Figura 6.7. Porcentaje del Volumen anual concesionado de Agua Superficial.....	355
Figura 6.8. Porcentaje del Volumen anual concesionado de Agua para Uso Industrial del Río Bravo	356
Figura 6.9. Distritos de Riego ubicados en la Cuenca del Río Bravo	357
Figura 6.10. Volumen Bruto utilizado en los Distritos de Riego del Río Bravo,1990-2016	361
Figura 6.11. Volumen Bruto utilizado en los Distritos de Riego del Río Bravo,1990-2016	362
Figura 6.12. Volumen Bruto utilizado en el DR 004 Don Martín, N.L. 1990-2016.....	362
Figura 6.13. Volumen Bruto utilizado en el DR 005 Delicias, Chih. 1990-2016	363

Figura 6.14. Volumen Bruto utilizado en el DR 006 Palestina, Coah. 1990-2016	363
Figura 6.15. Volumen Bruto utilizado en el DR 009 Valle de Juárez, Chih. 1990-2016.....	364
Figura 6.16. Volumen Bruto utilizado en el DR 025 Bajo Río Bravo, Tamps. 1990-2016	364
Figura 6.17. Volumen Bruto utilizado en el DR 026 Bajo Río San Juan, Tamps. 1990-2016.....	365
Figura 6.18. Volumen Bruto utilizado en el DR 031 Las Lajas, N.L. 1990-2016	365
Figura 6.19. Volumen Bruto utilizado en el DR 050 Acuña-Falcon, Tamps. 1990-2016.....	366
Figura 6.20. Volumen Bruto utilizado en el DR 090 Bajo Río Conchos, Chih. 1990-2016	366
Figura 6.21. Volumen Bruto utilizado en el DR 113 Alto Río Conchos, Chih. 1990-2016.....	367
Figura 7.1. Sistema hidrológico de la región hidrológica del río Bravo	368
Figura 7.2. Subregiones de la región hidrológica del río Bravo.....	370
Figura 7.3. Subregiones de la región hidrológica del río Bravo.....	371
Figura 7.4. Ubicación de las presas de almacenamiento en la cuenca del río Bravo.	373
Figura 7.5. Diagrama del sistema hidrológico de la cuenca del río Bravo (sección mexicana).....	374
Figura 7.6. Gráficas de aportaciones históricas de agua a las presas de almacenamiento.	376
Figura 7.7. Gráficas de aportaciones históricas de agua a las presas de almacenamiento.	377
Figura 7.8. Gráficas de aportaciones históricas de agua a las presas de almacenamiento.	378
Figura 7.9. Gráficas de aportaciones históricas de agua a las presas de almacenamiento.	379
Figura 7.10. Gráficas de aportaciones históricas de agua a las presas de almacenamiento.	380
Figura 7.11. Comportamiento histórico de las aportaciones de agua a las principales presas (1984- 2014).	381
Figura 8.1. Balance de aguas subterráneas (Zona 1).....	384
Figura 8.2. Balance de aguas subterráneas (Zona 2).....	384
Figura 8.3. Balance de aguas subterráneas (Zona 3).....	385
Figura 8.4. Balance de aguas subterráneas (Zona 4).....	385
Figura 8.5. Balance de aguas subterráneas (Zona 5).....	386
Figura 8.6. Dirección de flujo Agualeguas - Ramones	387
Figura 8.7. Dirección de flujo Alamo - Chapo.....	388
Figura 8.8. Dirección de flujo Aldama – San Diego	389
Figura 8.9. Elevación del nivel estático 2007, Aldama – San Diego (CONAGUA, 2015).....	389
Figura 8.10. Dirección de flujo Allende – Piedras Negras.....	390
Figura 8.11. Elevación del nivel estático 2008, Allende – Piedras Negras, msnm (CONAGUA, 2015)	391
Figura 8.12. Dirección de flujo Alto Río San Pedro	392
Figura 8.13. Elevación del nivel estático 1985, Alto Río San Pedro, msnm (CONAGUA, 2015). 392	
Figura 8.14. Dirección de flujo Área Metropolitana de Monterrey	393
Figura 8.15. Dirección de flujo Bajo Río Bravo	394
Figura 8.16. Elevación del nivel estático 2006, Bajo Río Bravo, msnm (CONAGUA, 2015)	394
Figura 8.17. Dirección de flujo Bajo Río Conchos	395
Figura 8.18. Dirección de flujo Bocoyna	396
Figura 8.19. Dirección de flujo Cabrera - Ocampo	397
Figura 8.20. Elevación del nivel estático 2010, Cabrera - Ocampo, msnm (CONAGUA, 2015)... 397	
Figura 8.21. Dirección de flujo Campo Buenos Aires	398
Figura 8.22. Dirección de flujo Campo Cerritos	399
Figura 8.23. Dirección de flujo Campo Durazno	400
Figura 8.24. Dirección de flujo Campo Jaritas.....	401
Figura 8.25. Dirección de flujo Campo Mina	402
Figura 8.26. Elevación del nivel estático 1969, Campo Mina, msnm (CONAGUA, 2015)	402

Figura 8.27. Dirección de flujo Campo Papagayos	403
Figura 8.28. Dirección de flujo Campo Topo Chico	404
Figura 8.29. Dirección de flujo Cañón del Derramadero	405
Figura 8.30. Elevación del nivel estático diferentes años, Cañón del Derramadero, msnm (CONAGUA, 2015)	405
Figura 8.31. Dirección de flujo Cañón de Huajuco	406
Figura 8.32. Elevación del nivel estático 2007, Cañón del Huajuco, msnm (CONAGUA, 2015) .	407
Figura 8.33. Dirección de flujo Carichi - Nonoava	408
Figura 8.34. Dirección de flujo Castaños	409
Figura 8.35. Elevación del nivel estático 2009, Castaños, msnm (CONAGUA, 2015).....	409
Figura 8.36. Dirección de flujo Cerro – Colorado La Partida	410
Figura 8.37. Dirección de flujo Chihuahua - Sacramento	411
Figura 8.38. Elevación del nivel estático 2005, Chihuahua - Sacramento, msnm (CONAGUA, 2015)	412
Figura 8.39. Dirección de flujo China – General Bravo	413
Figura 8.40. Dirección de flujo Citrícola Norte	414
Figura 8.41. Dirección de flujo Cuatrociénegas.....	415
Figura 8.42. Dirección de flujo El Carmen – Salinas - Victoria	416
Figura 8.43. Elevación del nivel estático 2004, El Carmen – Salinas - Victoria, msnm (CONAGUA, 2015)	416
Figura 8.44. Dirección de flujo General Cepeda - Saucedá	417
Figura 8.45. Elevación del nivel estático 1984, General Cepeda - Saucedá, msnm (CONAGUA, 2015)	417
Figura 8.46. Dirección de flujo Hidalgo.....	418
Figura 8.47. Dirección de flujo Jiménez - Camargo	419
Figura 8.48. Dirección de flujo Lampazos - Anáhuac	420
Figura 8.49. Dirección de flujo Lampazos - Villaldama	421
Figura 8.50. Dirección de flujo Manuel Benavides.....	422
Figura 8.51. Dirección de flujo Meoqui - Delicias.....	423
Figura 8.52. Elevación del nivel estático 1996 y 2005, Meoqui - Delicias, msnm (CONAGUA, 2015)	423
Figura 8.53. Dirección de flujo Monclova	424
Figura 8.54. Elevación del nivel estático 2007, Monclova, msnm (CONAGUA, 2015)	425
Figura 8.55. Dirección de flujo Palestina.....	425
Figura 8.56. Dirección de flujo Paredón	426
Figura 8.57. Elevación del nivel estático 2006, Paredón, msnm (CONAGUA, 2015)	427
Figura 8.58. Dirección de flujo Parral – Valle del Verano.....	428
Figura 8.59. Elevación del nivel estático 1982, Parral – Valle del Verano, msnm (CONAGUA, 2015)	428
Figura 8.60. Dirección de flujo Potrero del Llano	429
Figura 8.61. Elevación del nivel estático 2006, Potrero del Llano, msnm (CONAGUA, 2015)	430
Figura 8.62. Dirección de flujo Presa La Amistad.....	431
Figura 8.63. Dirección de flujo Providencia	432
Figura 8.64. Elevación del nivel estático 2010, Providencia, msnm (CONAGUA, 2015)	432
Figura 8.65. Dirección de flujo Región Carbonífera.....	433
Figura 8.66. Elevación del nivel estático 2011, Región Carbonífera, msnm (CONAGUA, 2015).	433
Figura 8.67. Dirección de flujo Región Manzanera – Zapaliname	434

Figura 8.68. Dirección de flujo Sabinas - Paras	435
Figura 8.69. Dirección de flujo Saltillo – Ramos Arizpe	435
Figura 8.70. Elevación del nivel estático 2007, Saltillo – Ramos Arizpe, msnm (CONAGUA, 2015)	436
Figura 8.71. Dirección de flujo San Felipe de Jesús	437
Figura 8.72. Dirección de flujo Santa Fe del Pino	437
Figura 8.73. Dirección de flujo Serranía del Burro	438
Figura 8.74. Dirección de flujo Tabaloapa - Aldama	439
Figura 8.75. Elevación del nivel estático 2007, Tabaloapa - Aldama, msnm (CONAGUA, 2015)	439
Figura 8.76. Dirección de flujo Torreón de Cañas	440
Figura 8.77. Dirección de flujo Valle de Juárez.....	441
Figura 8.78. Elevación del nivel estático 2008, Valle de Juárez, msnm (CONAGUA, 2015).....	441
Figura 8.79. Dirección de flujo Valle de Zaragoza	442
Figura 8.80. Dirección de flujo Valle del Peso	443
Figura 8.81. Dirección de flujo Villalba.....	444
Figura 8.82. Elevación del nivel estático 2007, Villalba, msnm (CONAGUA, 2015)	444
Figura 9.1. Zonas de reserva Acuífero Agualeguas- Los Ramones	445
Figura 9.2. Zonas de reserva Acuífero Allende- Piedras Negras	446
Figura 9.3. Zonas de reserva Acuífero Bajo Río Bravo	446
Figura 9.4. Zonas de reserva Acuífero Campo Durazno	447
Figura 9.5. Zonas de reserva Acuífero Castaños.....	447
Figura 9.6. Zonas de reserva Acuífero China- General Bravo	448
Figura 9.7. Zonas de reserva Acuífero Citrícola Norte	448
Figura 9.8. Zonas de reserva Acuífero El Carmen- Salinas- Victoria.....	449
Figura 9.9. Zonas de reserva Acuífero Lampazos-Anáhuac	449
Figura 9.10. Zonas de reserva Acuífero Meoqui- Delicias	450
Figura 9.11. Zonas de reserva Acuífero región Carbonífera.....	450
Figura 9.12. Zonas de reserva Acuífero Sabinas-Parás.....	451
Figura 9.13. Zonas de reserva Acuífero Tabaloapa-Aldama.....	451
Figura 9.14. Zonas de reserva Acuífero Valle de Juárez.....	452
Figura 10.1. Principales ciudades fronterizas dentro de la Región Hidrológica número 24	453
Figura 10.2. Localización de Ciudad Juárez Chihuahua	454
Figura 10.3. Localización de Piedras Negras Coahuila.....	456
Figura 10.4. Mapa de inundaciones de Piedras Negras, Coahuila	457
Figura 10.5. Localización de Nuevo Laredo, Tamaulipas	458
Figura 10.6. Localización de Reynosa, Tamaulipas.....	460
Figura 10.7. Mapa de inundaciones de Reynosa, Tamaulipas	463
Figura 10.8. Localización de Matamoros, Tamaulipas	464
Figura 10.9.. Mapa de inundaciones de Matamoros, Tamaulipas	467
Figura 10.10. Porcentaje de área con sequía en la cuenca del río Bravo (enero 2003-noviembre 2017)	469
Figura 10.11. Registros históricos de la sequía obtenidos de la página web del MSM.	470
Figura 10.12. Base de datos en Excel de los registros históricos de sequía por municipio en función de su grado de severidad.	470
Figura 10.13. Total de meses analizados con datos en el periodo del 31 de enero del 2003 al 31 de marzo del 2017.....	471
Figura 10.14. Frecuencias absolutas de acuerdo a cada tipo de severidad de sequía (D0 a D4).....	472

Figura 10.15. Base de datos ordenada de acuerdo al shapefile de municipios.....	472
Figura 10.16. Cálculo de la frecuencia relativa de cada categoría de sequía, ajuste a la distribución normal y clasificación de la probabilidad.....	474
Figura 10.17. Mapa de probabilidad de ocurrencia de sequía a escala municipal en la cuenca del río Bravo.....	478

TABLAS

Tabla 1.1. Listado de acuíferos de estudio	29
Tabla 2.1. Capas actualizadas y procesadas durante el proyecto	247
Tabla 2.2. Campos con su tipo de dato de la tabla de atributos de la capa de Estados	255
Tabla 2.3. Campos con su tipo de dato de la tabla de atributos de la capa de Municipios.....	256
Tabla 2.4. Campos con su tipo de dato de la tabla de atributos de la capa de Subcuencas.....	257
Tabla 2.5. Campos con su tipo de dato de la tabla de atributos de la capa de Acuíferos	259
Tabla 2.6. Campos con su tipo de dato de la tabla de atributos de la capa de Poblaciones Mayores	260
Tabla 2.7. Campos con su tipo de dato de la tabla de atributos de la capa de Distritos de Riego...	261
Tabla 2.8. Campos con su tipo de dato de la tabla de atributos de la capa de Red Hidrográfica	263
Tabla 2.9.- Campos con su tipo de dato de la tabla de atributos de la capa de Ríos Principales	264
Tabla 2.10.- Campos con su tipo de dato de la tabla de atributos de la capa de Presas	266
Tabla 2.11. Campos con su tipo de dato de la tabla de atributos de la capa de Estaciones Hidrométricas	267
Tabla 2.12.- Campos con su tipo de dato de la tabla de atributos de la capa de Plantas de Tratamientos.....	269
Tabla 2.13. Campos con su tipo de dato de la tabla de atributos de la capa de Estaciones de Calidad del Agua	271
Tabla 2.14. Campos con su tipo de dato de la tabla de atributos de la capa de Localidades	272
Tabla 2.15.- Campos con su tipo de dato de la tabla de atributos de la capa de Aprovechamientos Superficiales.....	274
Tabla 2.16. Campos con su tipo de dato de la tabla de atributos de la capa de Aprovechamientos Subterráneos.....	276
Tabla 2.17. Campos con su tipo de dato de la tabla de atributos de la capa de Zonas Agrícolas....	278
Tabla 4.1 Lista de Acuíferos que requieren de un estudio geohidrológico.	279
Tabla 5.1. Estaciones de monitoreo de calidad del agua de la RNM en tramo desde Ciudad Juárez hasta la desembocadura con el golfo de México.....	296
Tabla 5.2 Plantas de Tratamiento en el río Bravo	299
Tabla 5.3 Plantas de tratamiento de aguas residuales en el río Bravo.....	317
Tabla 5.4 Plantas de tratamiento de aguas residuales y sus proceso de tratamiento en el río Bravo, continuación	318
Tabla 5.5 Intervalos de clasificación.....	320
Tabla 5.6 Resultado de parámetros del índice de calidad para el río Bravo.....	320
Tabla 5.7 Resultado de parámetros del índice de calidad para las estaciones en presas	320
Tabla 5.8 Clasificación por estación de monitoreo y el Índice de calidad del agua.....	321
Tabla 5.9 Índice de calidad del agua en presas del río Bravo	322

Tabla 5.10. Resultado del agrupamiento de los sitios de monitoreo en el río Bravo.	328
Tabla 5.11 Correlación entre variables y los Factores del río Bravo.	330
Tabla 5.6.1 Sitios Correspondientes a la Zonificación de Aguas Subterráneas de la Región VI....	334
Tabla 5.6.2 Sitios con problemas de Calidad del Agua Subterránea.....	340
Tabla 7.1. Subregiones del Río Bravo.....	369
Tabla 7.2. Principales presas de almacenamiento en la cuenca del río Bravo.	374
Tabla 7.3. Estadísticas básicas de las aportaciones a las presas de almacenamiento.	375
Tabla 7.4. Cuenca propia (Cp) y Ecurrimientos aguas abajo (Ab) de las cuencas del Río Bravo.	381

MARCO DE REFERENCIA

El área que corresponde a la Región Administrativa de la Comisión Nacional del Agua (CNA) denominada Frontera Norte (Región VI), corresponde a la porción norte del país, en sus límites con los Estados Unidos de América (EUA). Precisamente se delimita al norte por la línea fronteriza entre México y los EUA, la cual se forma por la cuenca principal del río Bravo, desde Ciudad Juárez, Chihuahua en el extremo noroeste, hasta Matamoros, Tamaulipas, cerca de su desembocadura en el Golfo de México. Hacia el sur, limita con la Región Cuencas Cerradas del Norte o Nazas-Aguanaval, que comprende la parte norte de los estados de Durango, Zacatecas y San Luis Potosí; hacia el sureste, la región Frontera Norte colinda con la Golfo Norte en los estados de Nuevo León y Tamaulipas. En la parte oeste, la mayor parte del estado de Chihuahua corresponde a la Región Frontera Norte; sin embargo, en la parte extrema occidental y sur de dicho estado, colinda con las regiones Noroeste (II) y Pacífico Norte (III). Finalmente, esta región colinda al este con el Golfo de México, en lo que corresponde a la desembocadura del río Bravo.

En la nueva regionalización administrativa de la CNA, la delimitación de las fronteras entre regiones se hizo principalmente tomando en cuenta a la unidad hidrológica básica, es decir, la cuenca; sin embargo, debido a que la unidad política mínima es el municipio, se trató de evitar la división de esta unidad, por lo que se tomó el criterio de asignar a cada municipio, de acuerdo a la localización de la cabecera municipal y de la mayor porción del área del mismo cuando sucedió tal situación.

Marco Natural

La región Frontera Norte se encuentra situada al norte del Trópico de Cáncer, comprendida en su totalidad en la zona extratropical. Se extiende desde la costa en dirección tierra adentro a la parte norte de los estados de Tamaulipas, Nuevo León, Coahuila, Chihuahua y Durango. Su porción oriental corresponde a la Planicie Costera del Golfo Norte, pero en su mayoría está constituida por sistemas montañosos pertenecientes a las Sierras Madre Oriental Tamaulipas y Mesa del Norte; en la zona oriental existen planicies y lomeríos que forman parte de la Planicie Costera del Golfo Norte.

El potencial hidrológico de una región o cuenca hidrológica está integrado por las aguas superficiales y subterráneas que se pueden aprovechar para satisfacer las demandas de los diferentes usos.

Ahora bien, para el caso específico del agua superficial, el potencial hidrológico de la Región está constituido por la red hidrográfica de las corrientes superficiales (ríos) y por los depósitos naturales o artificiales (lagos, lagunas y embalses) que son alimentados por los escurrimientos superficiales.

Por tales motivos y para detectar el potencial hidrológico superficial, se describirán las características principales de la red hidrográfica y de los cuerpos de agua que se han identificado en las Regiones Hidrológicas 24 y 34, así como los aspectos más relevantes de las estaciones que integran la red hidrométrica de la región.

Red Hidrográfica

La descripción de las características más sobresalientes de la red hidrográfica, se ha desarrollado a nivel de cuenca de los ríos que drenan las Regiones Hidrológicas 24 y 34. En la Región 24 se describen los aspectos más relevantes de las cuencas de los Ríos Bravo, Conchos, Salado, Alamo y San Juan, mientras que en las Cuencas Cerradas del Norte se mencionan las características hidrográficas de las cuencas Arroyo El Carrizo, de los ríos Del Carmen, Santa María y Casas Grandes así como de la Laguna de Bustillos y la Laguna de los Mexicanos.

Región Hidrológica 24 (Bravo-Conchos)

La Región Hidrológica del Río Bravo se localiza en el extremo norte de la República Mexicana, limita al oeste con: Región N° 34 (Cuencas Cerradas del Norte), Región N° 9 (Cuenca del río Yaqui) y Región N° 10 (Cuenca del río Fuerte). Al sur limita con Región N° 35 (Cuencas Cerradas del Bolsón de Mapimí), Región N° 36 (Cuenca de los ríos Nazas y Aguanaval), Región N° 37 (El Salado) y Región N° 25 (San Fernando-Soto la Marina); al norte limita con los Estados Unidos y al este con el Golfo de México, donde el colector principal vierte sus aguas.

a) Cuenca del Río Bravo

El Río Bravo nace en las montañas Rocallosas dentro del Estado de Colorado en Estados Unidos, colinda con las cuencas de los ríos Colorado y Mississipi; dentro de los Estados Unidos, el río fluye de norte a sur y al tocar territorio mexicano, en Ciudad Juárez, cambia de dirección hacia el sureste hasta su desembocadura en el Golfo de México. El tramo en el que el Río Bravo sirve de límite internacional entre México y Estados Unidos es de 2,001 km aunque su extensión total desde su nacimiento hasta el Golfo de México es de 2,896 km.

El área de cuenca del río es de 869,000 km², pero sólo cerca de 500,000 km² producen escurrimientos que generan, aproximadamente, 11,000 millones de m³ al año, los cuales

están regulados por obras hidráulicas en ambos países, con una capacidad total de 23,000 millones de m³. Dentro del territorio nacional, la superficie de la cuenca del río Bravo abarca 226,275 km², localizada en su totalidad en la margen derecha de la corriente principal; comprende el centro, sur y oriente del Estado de Chihuahua; norte de Durango, norte y oriente de Coahuila, norte y centro de Nuevo León y norte de Tamaulipas.

En el cuadro siguiente se muestra la superficie que ocupa la cuenca en cada estado.

Área de Cuenca por Estado		
Estado	Superficie en km²	%
Chihuahua	81,329	35.9
Durango	1,748	0.8
Coahuila	95,872	42.3
Nuevo León	38,868	17.2
Tamaulipas	8,458	3.8
Total	226,275	100.0

Fuente: CNA, Gerencia Regional Norte 1993. Información de la cuenca del río Bravo. Proyecto de Integración del Consejo de Cuenca

El Río Bravo inicia su recorrido en territorio nacional en la Mesa del Norte, a poco más de 1,000 msnm y desciende sobre la Llanura Costera del Golfo hasta su desembocadura en el Golfo de México. En su recorrido, el Río Bravo recibe los aportes del río Pecos por el lado americano y los ríos Conchos, Salado y San Juan por el lado mexicano, además de otros afluentes de menor importancia. En la cuenca del río Bravo, las lluvias se caracterizan por ser irregulares y la mayor parte de los cauces presentan escurrimientos de aguas torrenciales; para su aprovechamiento se cuenta con obras hidráulicas tales como presas de almacenamiento y presas derivadoras, entre otras.

1. IDENTIFICACIÓN DE CUENCAS Y ACUÍFEROS TRANSFRONTERIZOS

1.1 ACUÍFEROS DE MÉXICO

En el marco de la estrategia nacional de seguridad hídrica para el manejo de aguas transfronterizas México-EUA, la Región Hidrológica 24 (RH24) Bravo-Conchos, localizada en la frontera Norte del país desde la parte central del país hasta su desembocadura en el Golfo de México, el trayecto final de su cauce principal que comprende desde las ciudades del Paso Texas y Ciudad Juárez Chihuahua, hasta su desembocadura en el Golfo de México funciona como línea fronteriza entre los Estados Unidos de América y los Estados Unidos Mexicanos.

La RH24 comprende parte de las entidades de Chihuahua, Coahuila, Durango, Nuevo León y Tamaulipas con una superficie de escurrimiento de 226,275 kilómetros cuadrados.

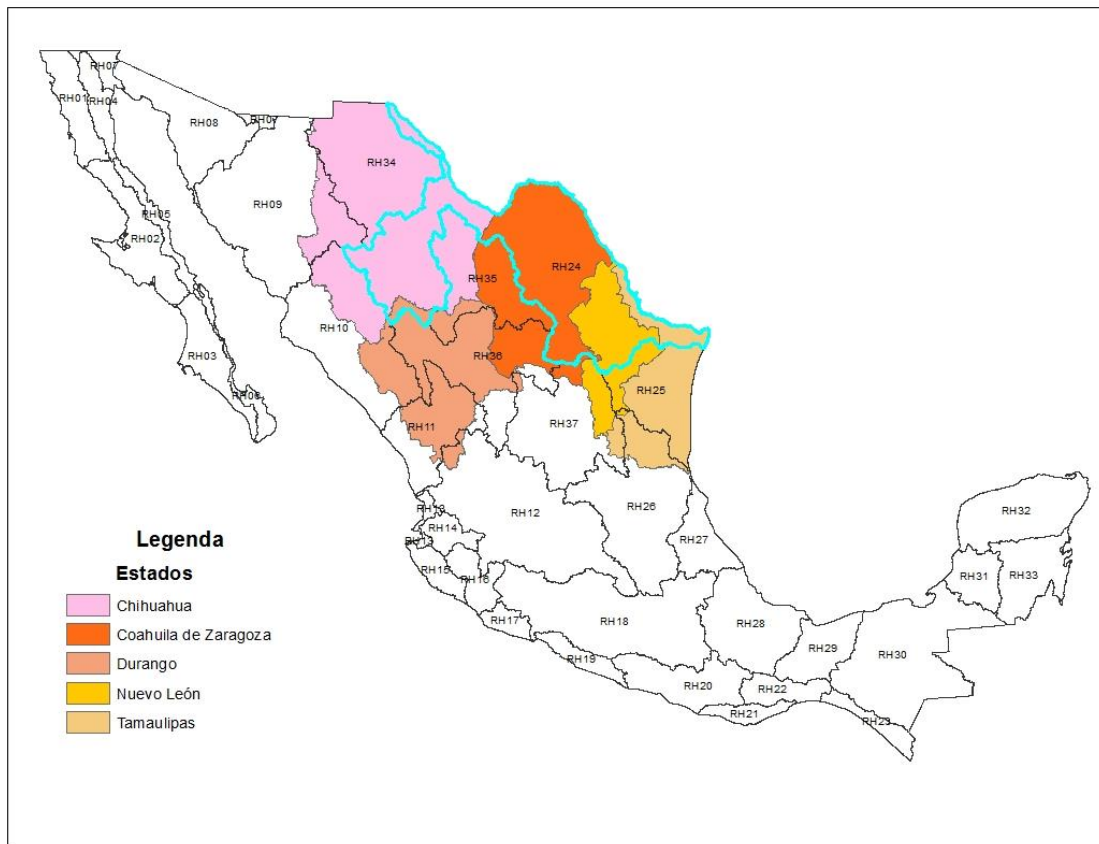


Figura 1.1.1. Región Hidrológica número 24 “Bravo – Conchos”

Las cuencas superficiales pertenecientes a la RH24 están clasificadas en cuatro cuencas, cada una de ellas con una cantidad diferente de subcuencas de acuerdo con su ubicación en la Región Hidrológica de acuerdo con la siguientes figura y tabla.

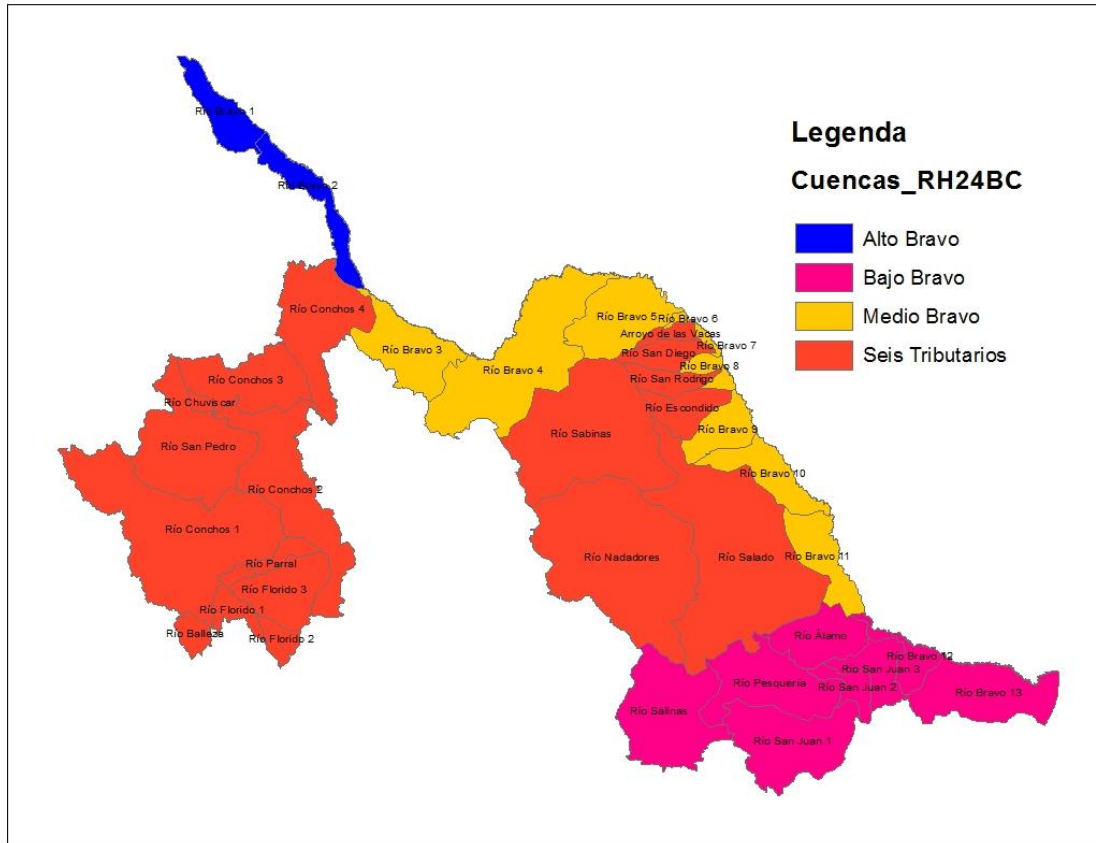


Figura 1.1.2. Cuencas pertenecientes a la Región Hidrológica número 24 “Bravo – Conchos”

Subregión	División	Cuenca		
		No.	Nombre	Descripción
ALTO BRAVO	Única	1	Río Bravo 1	Desde la Presa derivadora internacional Ciudad Juárez hasta la EH Fort Quitman
		2	Río Bravo 2	Desde la EH Fort Quitman hasta la EH Presidio
SEIS TRIBUTARIOS	Conchos	3	Río Florido 1	Las cuencas hidrológicas que integran esta Subregión corresponden a las cuencas de los ríos señalados en el inciso c de la parte B del artículo 4 del Tratado sobre Aguas Internacionales de 1944
		4	Río Florido 2	
		5	Río Florido 3	
		6	Río Parral	
		7	Río Balleza	
		8	Río Conchos 1	
		9	Río San Pedro	

Subregión	División	Cuenca		
		No.	Nombre	Descripción
		10	Río Conchos 2	
		11	Río Chuviscar	
		12	Río Conchos 3	
		13	Río Conchos 4	
	A. Vacas	18	Arroyo de las Vacas	
	San Diego	19	Río San Diego	
	San Rodrigo	21	Río San Rodrigo	
	Escondido	23	Río Escondido	
	Salado	26	Río Sabinas	
		27	Río Nadadores	
28		Río Salado		
MEDIO BRAVO	Unica	14	Río Bravo 3	Las cuencas hidrológicas que integran esta Subregión corresponden a aquellas drenadas por el cauce principal del Río Bravo tal como se señala en el inciso d de la parte B del artículo 4 del Tratado sobre Aguas Internacionales de 1944
		15	Río Bravo 4	
		16	Río Bravo 5	
		17	Río Bravo 6	
		20	Río Bravo 7	
		22	Río Bravo 8	
		24	Río Bravo 9	
		25	Río Bravo 10	
		29	Río Bravo 11	
BAJO BRAVO	Alamo	30	Río Alamo	Desde su origen hasta la EH Mier
	San Juan	31	Río Salinas	Desde su origen hasta la EH Icamole
		32	Río Pesquería	Desde la EH Icamole hasta la EH Los Herrera
		33	Río San Juan 1	Desde su origen hasta la Presa El Cuchillo
		34	Río San Juan 2	Desde EH Los Herrera y Presa El Cuchillo hasta EH Los Aldama
		35	Río San Juan 3	Desde la EH Los Aldama hasta la EH Camargo
		36	Río Bravo 12	Desde Presa Falcón y EH Mier y Camargo hasta EH Anzaldúas

Subregión	División	Cuenca		
		No.	Nombre	Descripción
	Bravo Abajo Falcón	37	Río Bravo 13	Desde EH Anzaldúas hasta EH Matamoros, Golfo de México

Se identificaron 54 acuíferos como objeto de estudios los cuales son enlistados en la tabla

Tabla 1.1.1. Listado de acuíferos de estudio

ID	Nombre	Clave
1	Agualeguas-Ramones	1905
2	Alamo Chapo	0842
3	Aldama-San Diego	0836
4	Allende-Piedras Negras	0501
5	Alto Río San Pedro	0838
6	Area Metropolitana de Monterrey	1906
7	Bajo Rio Bravo	2801
8	Bajo Rio Conchos	0837
9	Bocoyna	0843
10	Cabrera-Ocampo	1008
11	Campo Buenos Aires	1907
12	Campo Cerritos	1919
13	Campo Durazno	1909
14	Campo Jaritas	1918
15	Campo Mina	1908
16	Campo Papagayos	1920
17	Campo Topo Chico	1910
18	Cañón del Derramadero	0502
19	Cañón del Huajuco	1911
20	Carichi- Nonoava	0846
21	Castaños	0519
22	Cerro Colorado-La partida	0503
23	Chihuahua-Sacramento	0830
24	China - General Bravo	1913
25	Citricola Norte	1912
26	Cuatrociénegas	0528
27	El Carmen-Salinas Victoria	1924
28	General Cepeda-Sauceda	0505
29	Hidalgo	0514

30	Jiménez-Camargo	0832
31	Lampazos-Anahuac	1903
32	Lampazos-Villa Aldama	1901
33	Manuel Benavides	0839
34	Meoqui-Delicias	0831
35	Monclova	0507
36	Palestina	0513
37	Paredón	0508
38	Parral-Valle del Verano	0834
39	Potrero del Llano	0841
40	Presa la Amistad	0522
41	Providencia	1007
42	Región Carbonífera	0512
43	Región Manzanera-Zapaliname	0511
44	Sabinas-Parás	1902
45	Saltillo-Ramos Arizpe	0510
46	San Felipe de Jesus	0845
47	Santa Fe del Pino	0515
48	Serranía del Burro	0526
49	Tabalaopa-Aldama	0835
50	Torreón de Cañas	1014
51	Valle de Juárez	0833
52	Valle de Zaragoza	0844
53	Valle del Peso	0861
54	Villalba	0840

1.1 VALLE DE JUÁREZ

1.1.1 INFORMACIÓN GENERAL

El acuífero Valle de Juárez, clave 0833, con una extracción total de 171.8 millones de metros cúbicos anuales y una recarga cuantificada en 125.9 millones de metros cúbicos anuales; presenta una situación de sobreexplotación que puede llegar a afectar las actividades que dependen del agua subterránea en la región.

De acuerdo a la clasificación de Regiones Hidrológicas de la Comisión Nacional del Agua, la zona se encuentra en la Región Hidrológica 24 "Río Bravo", subregión hidrológica Río Conchos, dentro de la cuenca Río Bravo-Ciudad Juárez.

1.1.1.1 Localización

El acuífero Valle de Juárez, se localiza en la porción norte del estado de Chihuahua. Abarca una superficie de 3,386 Km², se ubica dentro de los paralelos 105°37' y 106°38' de latitud norte, y entre los meridianos 30°50' y 31°48' de longitud oeste.

Colinda al norte y este con la frontera internacional que limita a México de los Estados Unidos de América, al oeste con los acuíferos Conejos-Médanos y Samalayuca, y hacia el sur con los acuíferos Laguna de Patos, El Cuarenta y Valle del Peso (Figura 1.1.3).

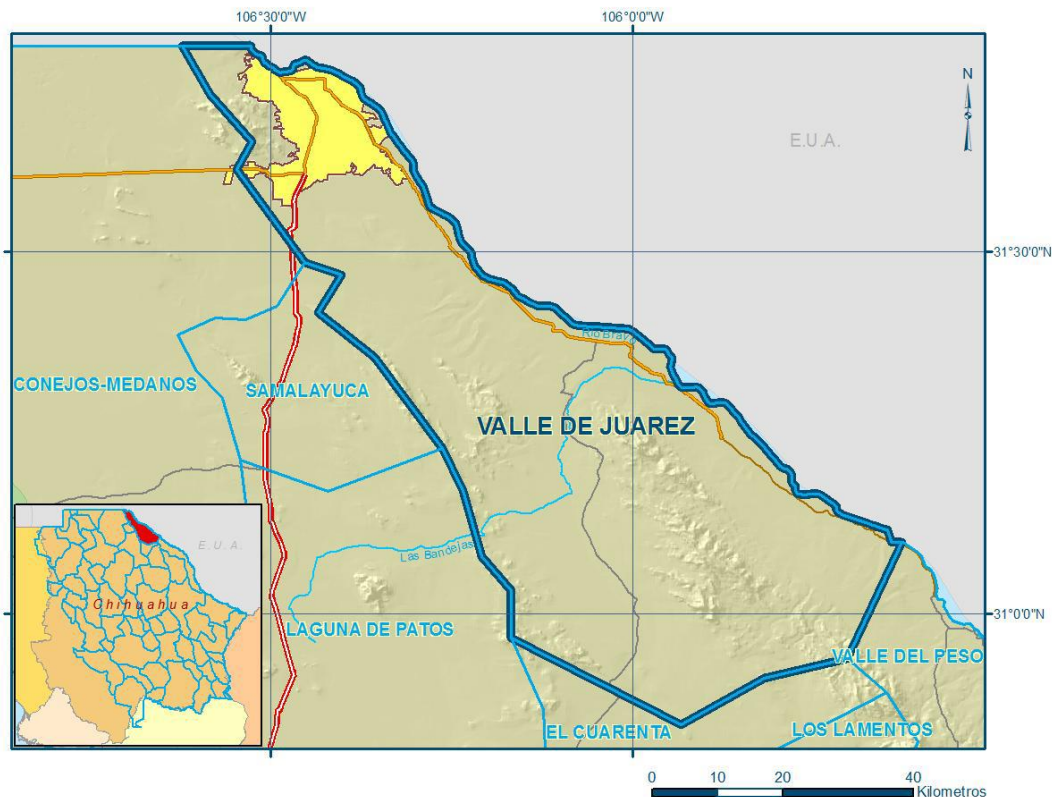


Figura 1.1.3. Localización del acuífero Valle de Juárez

1.1.2 FISIOGRAFÍA

1.1.2.1 Provincia fisiográfica

La zona se localiza en la porción centro occidental de la Provincia Cuencas y Sierras, la cual está limitada al oriente por la Sierra Madre Oriental, al sur por las Sierras Transversales y al occidente por la Sierra Madre Occidental (CONAGUA, 2011).

La Provincia Fisiográfica de Cuencas y Sierras, se caracteriza por ser una extensa zona desértica en la que emergen grandes bloques montañosos, constituidos principalmente de rocas sedimentarias marinas de edad cretácica separados por amplias llanuras que al paso del tiempo, durante el Paleógeno y Cuaternario, han sido rellenadas por depósitos aluviales, fluviales y lacustres conformando las cuencas endorreicas conocidas en el norte del país como “bolsones” típicos de esta provincia.

1.1.3 CLIMA

De acuerdo al informe de la Comisión Nacional del Agua, el clima de la región es muy seco o desértico y se clasifica por su humedad y temperatura como templado con verano cálido.

De acuerdo con los registros de estación climatológica Juárez, que cuenta con información desde el año 1957, la temperatura media anual de la región es de 18.2° C, con valores extremos de 7.5 y 28.4° C, en los meses de enero y julio respectivamente.

La precipitación promedio anual es de 265.3 mm, las cuales se registran principalmente durante los meses de julio a septiembre. Se presenta una precipitación promedio anual de 2,218 mm.

1.1.4 GEOLOGÍA

La geología regional abarca unidades litológicas principalmente de origen sedimentario y en menor proporción volcánico, cuyo rango estratigráfico abarca del Mesozoico hasta el Cenozoico, comprendidas dentro del terreno tectonoestratigráfico Chihuahua.

Las rocas más antiguas son de tipo sedimentario y de origen marino y corresponden a las formaciones Navarrete-Las Vigas, Cuchillo y Grupo Aurora, las cuales fueron depositadas en la Cuenca Chihuahua, durante el Cretácico Inferior y están representadas por lutitas-areniscas, calizas arcillosas y biógenas y calizas, respectivamente.

Cubren una secuencia de derrames riódacíticos y riolíticos así como depósitos piroclásticos de composición ácida, asociados al emplazamiento de dos cuerpos intrusivos de composición granítica y granodiorítica, pertenecientes todos al Oligoceno. El Mioceno está representado por derrames basálticos, los cuales sobreyacen discordantemente las secuencias anteriores.

Finalmente, la secuencia es cubierta de manera discordante por depósitos semiconsolidados y no consolidados pertenecientes al periodo Neógeno Superior-Cuaternario, constituidos por conglomerados polimícticos, limos y arenas, depósitos lacustres y eólicos (CONAGUA, 2009).

1.1.4.1 Geología del subsuelo

El acuífero Villa de Juárez está constituido, en su parte superior, por materiales clásticos conformados por abanicos aluviales, sedimentos eólicos y aluviales depositados en el bolsón. Subyaciendo a esta unidad, se presenta un medio fracturado constituido por rocas sedimentarias kársticas e ígneas extrusivas que en superficie funcionan como rocas transmisoras, permitiendo la infiltración a través de fallas y fracturas hacia las unidades topográficamente más bajas (Figura 1.1.4). Ambas unidades están separadas en la llanura aluvial por una capa arcillosa de espesor variable que ocasiona artesianismo.

El medio granular gana espesor de manera abrupta debido a la falla normal localizada en el flanco este de la Sierra de Juárez con un espesor máximo de estos depósitos de 2,743 m.

La mayor parte de los pozos de uso agrícola se emplazan solo en los depósitos del aluvión y por lo general no rebasan los 100 m de profundidad, mientras que los pozos que abastecen de agua potable a Ciudad Juárez extraen agua principalmente de los depósitos de Bolsón y tienen profundidades promedio de 250 m.

Los Depósitos de Bolsón, de acuerdo a la información proporcionada por pozos ubicados a lo largo del valle, varían lateralmente en su granulometría, predominando las arenas, limos y arcillas.

Existe una tendencia a aumentar el contenido de arcilla desde el valle agrícola hacia la zona de las sierras de Presidio, Guadalupe y San Ignacio, lo cual se refleja en la disminución de gastos de extracción de los pozos perforados en esas zonas, aunque la calidad del agua por el contrario, tiende a mejorar sustancialmente.

De acuerdo al informe del acuífero Valle de Juárez, la geometría del acuífero está determinada por el sistema de fallamiento, el espesor de los depósitos es mayor al centro de la depresión y menores hacia las estribaciones de las sierras que la delimitan, teniendo como eje el río Bravo.

En la porción estadounidense del Bolsón del Huevo, las perforaciones exploratorias han determinado que el espesor máximo de los sedimentos es del orden de los 2,700 m; sin embargo en la porción mexicana solo se han perforado pozos hasta 500 m de profundidad, sin tocar el basamento rocoso. Las rocas fracturadas de las sierras que bordean al acuífero, son en general transmisoras del agua de recarga que fluye hacia los sedimentos de los depósitos que rellenaron el bolsón.

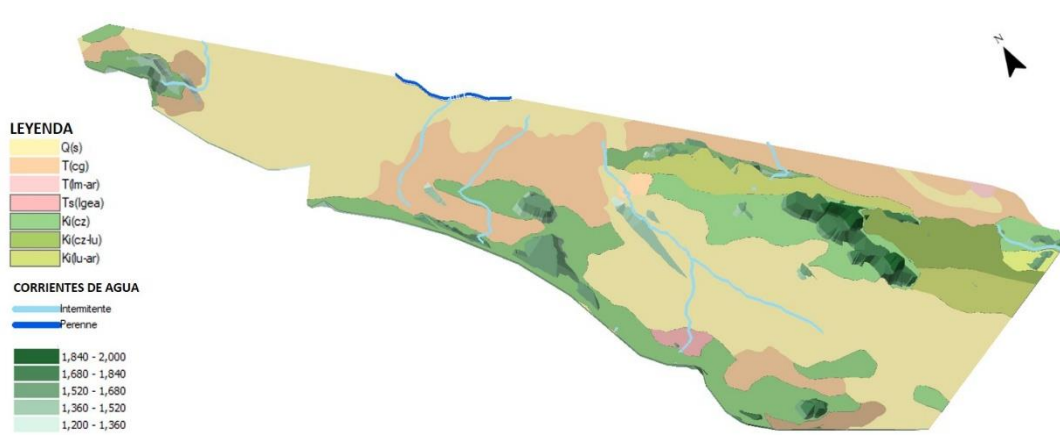


Figura 1.1.4. Geología general del acuífero Valle de Juárez

1.1.5 HIDROGEOLOGÍA

1.1.5.1 Tipo de acuífero

El acuífero es de tipo libre y está constituido, en su parte superior, por materiales clásticos conformados por abanicos aluviales, sedimentos eólicos y aluviales, depositados tanto en la planicie aluvial del río Bravo como en el bolsón. Subyaciendo a esta unidad, se presenta un medio fracturado constituido por rocas sedimentarias kársticas e ígneas extrusivas que en superficie funcionan como rocas transmisoras, permitiendo la infiltración a través de fallas y fracturas, hacia las unidades topográficamente más bajas.

1.1.5.2 Parámetros hidráulicos

Se reportaron valores de transmisividad entre 72 a 1448 m²/día (CONAGUA, 2009).

La variación de la transmisividad sigue un patrón de comportamiento bien definido: los valores más altos se registran en la porción noroeste de la zona, disminuyendo gradualmente hacia el sureste, en cuyo extremo se encuentran los valores más bajos.

Con respecto a la conductividad hidráulica los valores oscilan entre 0.1 y 28.5 m/día. En la zona urbana su valor promedio es de 7.4 m/día; en el resto del valle los valores fluctúan entre 0.12 y 9.64 m/día con un valor promedio de 3.2 m/día. En el valle de Bandejas se presenta un valor medio de 9 m/día.

Por lo que respecta al coeficiente de almacenamiento S, para la zona urbana su valor promedio es 0.00044 y para el resto del valle 0.00063. El valor del rendimiento específico varía de 0.12 a 0.26, con promedio de 0.15.

1.1.5.3 Profundidad del nivel estático

De acuerdo con la configuración de la profundidad al nivel estático en el año 2008, Figura 1.1.5, los valores registrados variaron desde algunos metros hasta 145. Los valores someros se registraron en la porción suroriental del acuífero, en las inmediaciones del río Bravo, por efecto de la topografía; en tanto que los más profundos se presentan en la zona de terrazas y al oeste del área urbana de Ciudad Juárez.

En la zona urbana de ciudad Juárez, se registran profundidades del nivel del agua que oscilan entre los 40 y 100 m. En el resto del valle las profundidades al nivel del agua en los pozos presentaron valores de 20 a 60 m. En el valle del arroyo Bandejas las profundidades fueron entre 40 y 100 m.

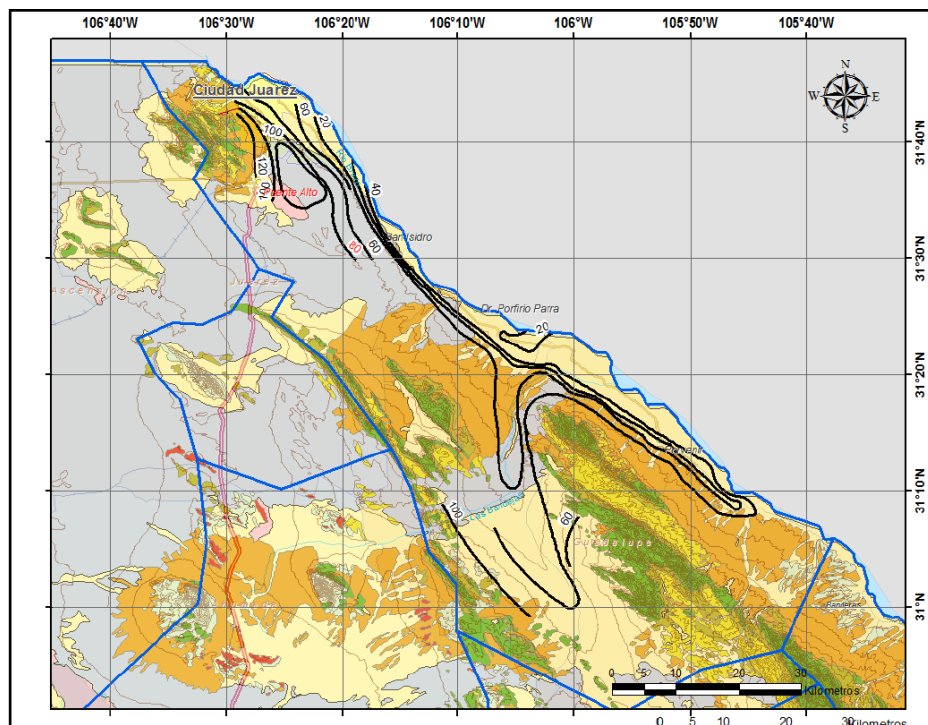


Figura 1.1.5. Profundidad al nivel estático del acuífero Valle de Juárez en m (CONAGUA, 2008)

1.1.5.4 Elevación del nivel estático

Con respecto a la elevación del nivel estático, al igual que la profundidad, muestra claramente el reflejo de la topografía para la mayor parte del acuífero, con excepción de la zona de Ciudad Juárez.

Los valores de elevación presentaron valores de 1,070 a 1,150 msnm (Figura 1.1.6). Para el valle del arroyo Bandejas los valores de elevación variaron de 1,200 a 1,340 msnm, por efecto de la topografía.

En la porción norte del acuífero, donde se localiza la zona urbana de Ciudad Juárez, la intensiva extracción que ha realizado en las últimas décadas ha provocado el descenso progresivo de los niveles del agua subterránea debido a la concentración de pozos municipales, lo cual ha generado un cono de abatimiento que no sólo ha interceptado el flujo subterráneo que en condiciones naturales se dirigía hacia el río Bravo, sino que ahora induce desde él.

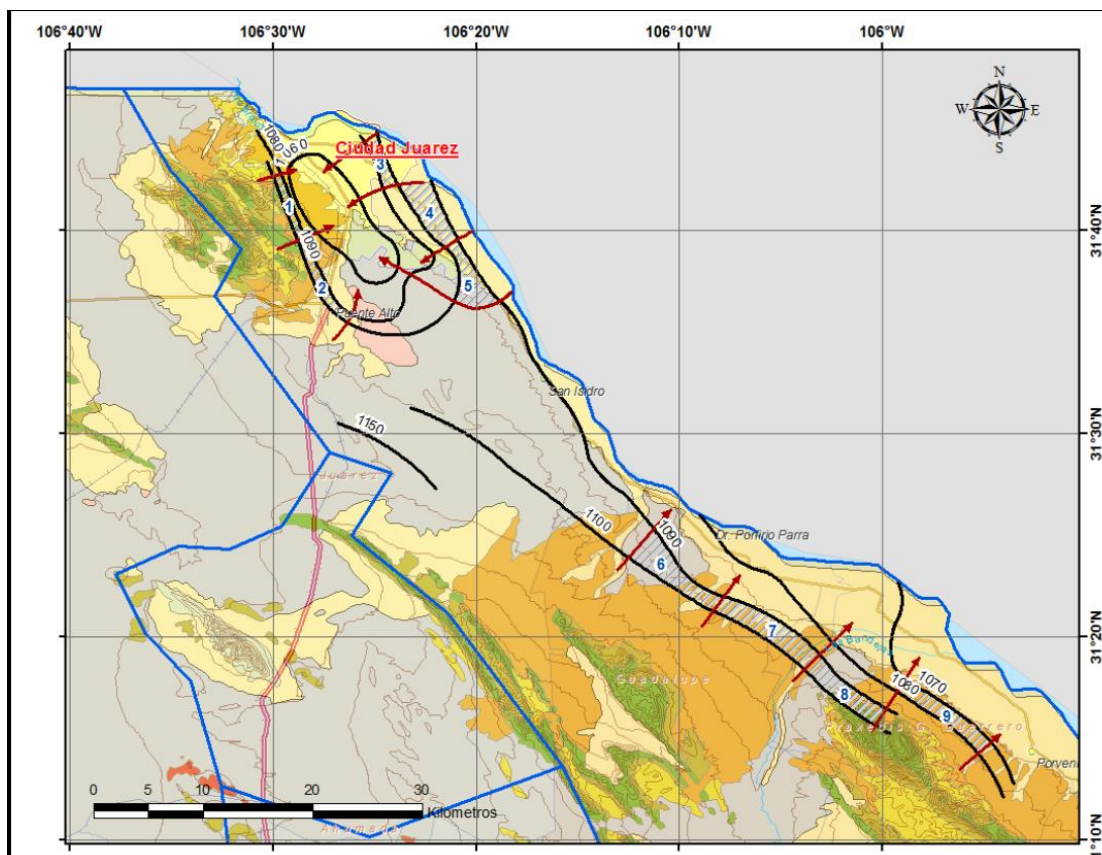


Figura 1.1.6. Elevación del nivel estático del acuífero Valle de Juárez en m (CONAGUA, 2008)

EVOLUCIÓN DEL NIVEL ESTÁTICO

El periodo considerado para la evaluación del nivel estático fue entre 1990-2008. En la Figura 1.1.7 se puede observar que los descensos registrados en este periodo variaron de 5 a 45 m, lo que representa un ritmo anual de abatimiento de 0.3 a 2.5 m, en la zona urbana y en la primera unidad del distrito de riego, por efecto de la concentración del bombeo para uso público-urbano y en la reducción de la extracción con fines agrícolas en el área antropogénica.

La extracción de agua subterránea sigue siendo de magnitud mayor que el volumen renovable del acuífero. El abatimiento también ha sido provocado por la concentración de pozos en la zona urbana de la ciudad de El Paso, Texas (EUA), cuyos efectos se han propagado a territorio mexicano. Por el contrario, en la segunda y tercera unidad del distrito de riego, los niveles freáticos se han mantenido estables y en algunas áreas han manifestado ligero ascenso, debido a los excedentes de riego agrícola.

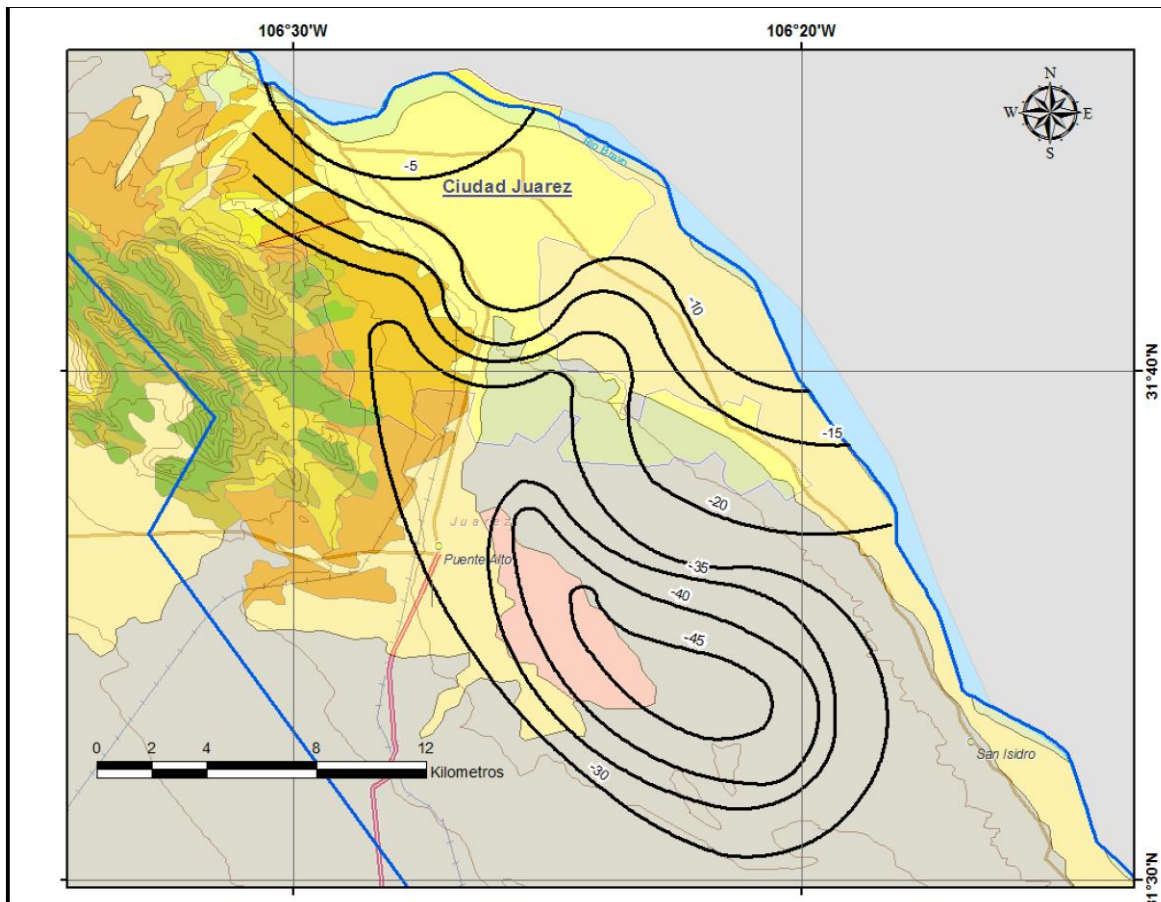


Figura 1.1.7. Evolución del nivel estático del acuífero Valle de Juárez en m, 1990-2008 (CONAGUA, 2008)

1.1.5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

La salinidad del agua subterránea varía dentro de un rango muy amplio: el acuífero aluvial contiene agua dulce a salobre y está contaminado en su parte superior por el retorno de

excedentes de riego y de aguas residuales; los depósitos de bolsón que lo subyacen contienen agua de alta salinidad de origen natural.

De manera general, se observa que las concentraciones de sólidos totales disueltos (STD) presentaron valores de 400 a 800 ppm para la mayor parte del acuífero. En el resto del acuífero las concentraciones fueron de 1,200 a 3,000 ppm, por efecto de la salinidad natural de los depósitos de bolsón y del incremento de riego agrícola.

1.2 VALLE DEL PESO

1.2.1 INFORMACIÓN GENERAL

El acuífero Valle del Peso, clave 0861, cuya superficie aproximada es de 3,596 Km².

Colinda al norte y este con los Estados Unidos de Norteamérica, al sur con el acuífero Bajo Río Conchos y al oeste con los acuíferos Valle de Juárez, El Cuarenta, Los Lamentos y Aldama-El Cuervo, todos ellos pertenecientes al estado de Chihuahua

1.2.1.1 Localización

Se localiza en la porción nororiente del estado de Chihuahua, entre los paralelos 29°36' a 30°56' de latitud Norte y los meridianos 104°27' a 105°42' de longitud Oeste (Figura 1.1.8).

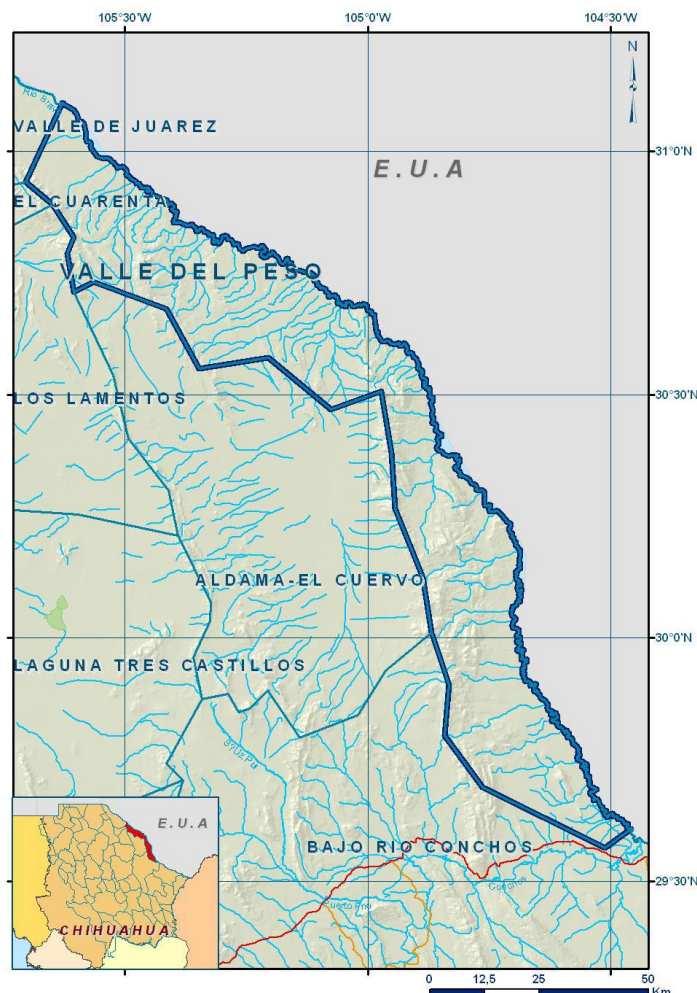


Figura 1.1.8. Localización del acuífero Valle del Peso

1.2.2 FISIOGRAFÍA

1.2.2.1 Provincias fisiográficas

El área que cubre el acuífero se encuentra en su totalidad en la provincia Sierras y Llanuras del Norte, subprovincia Sierras Plegadas del Norte en su mayor parte y una pequeña zona en la subprovincia de Llanuras y Sierras Volcánicas.

La provincia de Sierras y Llanuras del Norte es una provincia árida y semiárida que se extiende desde el suroeste de los Estados Unidos de América hasta cerca de Nazas en Durango y la Laguna de Mayrán en Coahuila, se orienta casi noroeste-sursureste y abarca parte de los estados de Durango, Sonora, Chihuahua y Coahuila. Dominan rocas volcánicas acidas en el oeste, calizas en el este y norte, en la región la morfología es de bolsones, esto es, cuencas con drenaje interno donde también se alternan sierras y valles.

La subprovincia Sierras Plegadas del Norte está ubicada casi toda al noroeste del río Conchos, consiste en una bajada amplia con algo más de 1,000 msnm, excepto en la zona próxima a la cabecera municipal Juárez donde predominan llanuras. La bajada tiene

asociados lomeríos, salvo en la unidad situada al suroeste de Juárez, y su continuidad está parcialmente interrumpida por pequeñas sierras alargadas, dispersas y orientadas norte-sur.

La subprovincia Llanuras y Sierras Volcánicas en territorio mexicano comprende parte de los estados de Chihuahua y Coahuila; al norte se extiende hacia los Estados Unidos de América. En esta zona, se originan algunos arroyos, afluentes del Río Bravo, y hay cierto número de zonas bajas capaces de acumular agua por períodos cortos, pero el régimen es de desierto. La mayor parte del territorio de la subprovincia es bajada o llanura, superficies aplanadas que se encuentran interrumpidas en algunos lugares por sierras, en otros por lomeríos y en unos más por mesetas. Las mesetas y los valles son los sistemas de topofomas menos representativos de la subprovincia.

1.2.3 CLIMA

En el territorio que cubre el acuífero predominan los climas: Muy seco y Seco.

Por lo que la evaporación excede a la precipitación y su baja humedad depende principalmente de la escasa precipitación y la temperatura.

Se registraron valores de precipitación y temperatura media anual de 265.9 mm y 19.8 °C respectivamente. Con respecto a la evaporación potencial, no se cuenta con datos de evaporímetro de ninguna de las estaciones en la zona.

1.2.4 GEOLOGÍA

La geología general emplazada en la región que comprende el acuífero está integrada por un gran paquete de material aluvial del Mesozoico, acompañado de rocas sedimentarias e ígneas extrusivas.

Para el Mesozoico existía una serie de elementos paleo-geográficos y de actividad tectónica que se desarrollaron desde el triásico y dieron pie a la formación de dos facies de sedimentación identificadas para el Cretácico Inferior.

La fase orogénica proveniente del occidente, continúa a principios del Cenozoico acompañada con la intrusión de granito, granodiorita, gabro y diorita que intrusionan a las calizas de plataforma.

Se registraron secuencias vulcanosedimentarias que infrayacen a las rocas denominadas como "Complejo Volcánico Superior". La segunda fase volcánica la representan tobas de composición riódacítica y riolítica con intercalación de vulcanoclásticos, así como riolita del Oligoceno Mioceno que en ocasiones extruyeron a través de fracturas. Andesita post-miocénica sobreyace concordantemente a las unidades ácidas e infrayace a basalto, el cual es el representativo de las últimas manifestaciones volcánicas, de acuerdo con las observaciones de campo, esta unidad sobreyace también discordantemente a rocas ígneas, así como a unidades Cretácicas e infrayace a rocas y sedimentos del Pliocuaternario.

Las manifestaciones volcánicas que dieron origen a la Sierra Madre Occidental, compuesto por areniscas y conglomerados, que rellenan antiguas cuencas continentales, sobreyacen

en forma discordante a las rocas del Cretácico e infrayacen a rocas extrusivas volcánicas de tipo ácido e intermedio y a depósitos del terciario Superior. Los esfuerzos distensivos de finales del cretácico que han dado origen al paisaje de cuencas y sierras de la zona, generó también el evento denominado Rift Rio Grande, del cual forma parte este acuífero, provocando el depósito de material clástico no consolidado y el desarrollo de pequeñas planicies aluviales que rellenan las depresiones, también se depositan caliche y localmente suelos eólicos.

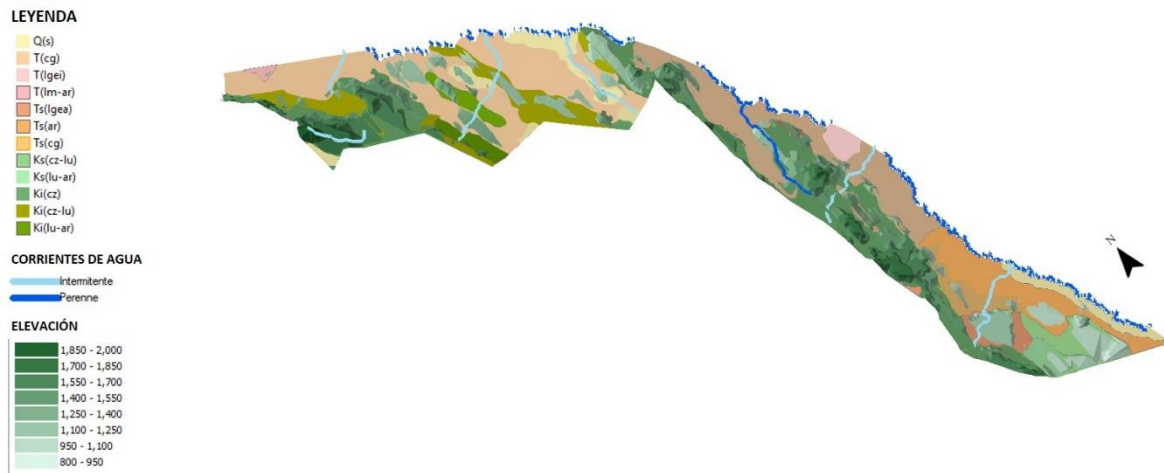


Figura 1.1.9. Geología general del acuífero Valle de Juárez

1.2.4.1 Geología del subsuelo

La geología del subsuelo fue determinada por la correlación con acuíferos vecinos siendo sedimentos aluviales de granulometría variable y conglomerados, de permeabilidad media a baja, los que constituyen los valles y los piedemonte. La porción inferior está conformada por rocas ígneas extrusivas como basaltos, tobas y riolitas que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento. Las fronteras al flujo subterráneo y el basamento geohidrológico del acuífero están representados por las mismas rocas ígneas, al desaparecer el fracturamiento (Figura 1.1.10).

A mayor profundidad, las calizas de las formaciones Ojinaga, Buda y Del Río, constituyen horizontes acuíferos profundos que no han sido explorados en la zona, y que pueden presentar condiciones de semiconfinamiento o confinamiento debido a que su litología incluye alternancia con lutitas y limolitas.

Dichos materiales han permitido la acumulación de agua en el subsuelo, formando un acuífero que se recarga por la infiltración del agua de lluvia desde las sierras constituidas por rocas calizas, basaltos y riolitas, principalmente, y que se almacena en el subsuelo. Salvo los escasos pozos y norias, no se conoce otro tipo de salida o descarga de agua del acuífero.

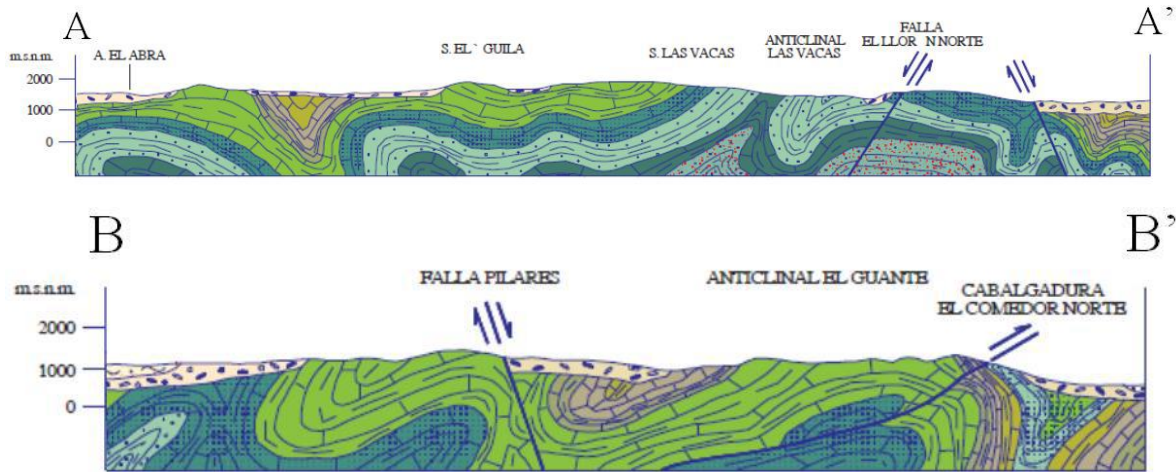


Figura 1.1.10. Carta Geológica-Minera H13-5 "San Antonio del Bravo". Esc. 1:250,000 (SGM, 2003)

1.2.5 HIDROGEOLOGÍA

1.2.5.1 Tipo de acuífero

El acuífero es de tipo libre, heterogéneo y anisótropo tanto en sentido vertical como horizontal.

Debido a la topografía accidentada y a la alternancia de secuencias impermeables y permeables, los escurrimientos fluyen de manera rápida sin permitir su infiltración en las primeras y se infiltran en las unidades permeables. Sólo en la porción baja es posible la acumulación de agua, conformando un acuífero de reducidas dimensiones y de baja capacidad de almacenamiento, que presenta permeabilidad media a baja. El agua infiltrada en las regiones más altas recarga a las secuencias calcáreas y terrígenas que se localizan a mayor profundidad.

1.2.5.2 Profundidad y elevación del nivel estático

No se cuenta con información piezométrica histórica que permita elaborar las configuraciones de profundidad, elevación y evolución del nivel estático. Las escasas mediciones piezométricas recabadas de acuerdo a los informes de CONAGUA se encuentran dispersas en el espacio y no cubren en su totalidad la extensión superficial del acuífero.

1.2.5.3 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

Debido al escaso número de aprovechamientos, a las dificultades de acceso a ellos y al incipiente volumen de extracción del acuífero, a la fecha no se ha realizado muestreo de aguas subterránea para su análisis correspondiente.

Se cuenta con un registro de valores promedio del año 2010 de los siguientes parámetros físico-químicos: pH = 7.7, SDT = 4,930 ppm, C.E. = 8,270 μ S/cm y T= 27.1°C.

1.3 BAJO RÍO CONCHOS

1.3.1 INFORMACIÓN GENERAL

El acuífero Bajo Río Conchos, clave 0837, está ubicado en una zona preponderantemente desértica, con escasez natural de agua, lo que implica que el escurrimiento y la infiltración son reducidos.

El río Conchos el cual se haya sobre el acuífero, desemboca en el río Bravo y, a partir de este punto, la cantidad y calidad de aguas fronterizas es cuidadosamente monitoreada por oficinas binacionales de la Comisión Internacional de Límites y Aguas. Debido a que el caudal del río Bravo se reduce hasta casi desaparecer 130 Km aguas abajo de El Paso/Cd. Juárez, es decir 341 Km antes de la desembocadura del Conchos al Bravo (Fort Quitman), el aporte del río Conchos de 909 millones de m³ anuales (promedio entre 1969 y 1989) contribuye la mayor parte del agua que lleva el río Bravo en este tramo.

1.3.1.1 Localización

El acuífero Bajo Río Conchos se localiza en la porción nororiental del estado de Chihuahua, y abarca un área de 8,830.5 Km² (Figura 1.1.11).

La cuenca del río Conchos (68,606 Km²), se encuentra casi en su totalidad dentro del estado de Chihuahua, ocupando 26% de la extensión territorial de éste.

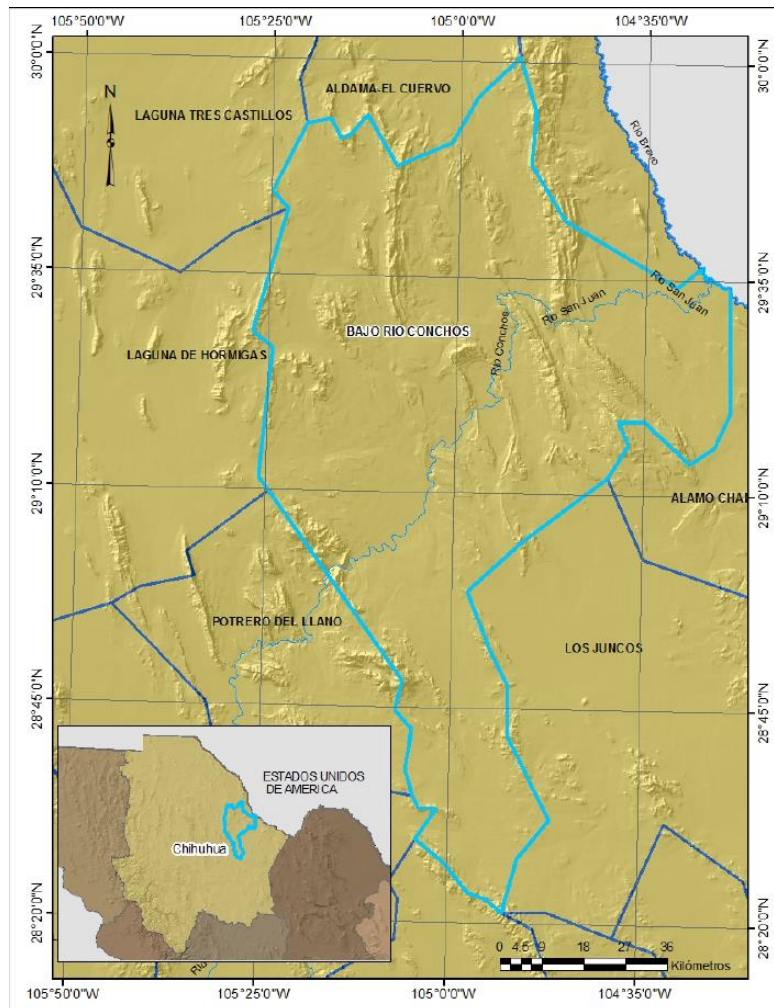


Figura 1.1.11. Localización del acuífero Bajo Río Conchos

1.3.2 FISIOGRAFÍA

El acuífero Bajo Río Conchos, se encuentra ubicado dentro de la Provincia Fisiográfica Sierras y Llanuras del Norte, se localiza en su mayor parte dentro de la Subprovincia Sierras Plegadas del Norte, algunas porciones de las zonas oriental y suroriental se ubican en la Subprovincia Llanuras y Sierras Volcánicas, y una pequeña parte al sur en la Subprovincia Bolsón de Mapimí.

La Provincia Sierras y Llanuras del Norte es una provincia árida y semiárida que se extiende desde el suroeste de los Estados Unidos de América hasta cerca de Nazas en Durango y la Laguna de Mayrán en Coahuila. Dentro de territorio mexicano, al sur del Río Bravo, colinda al oeste con la Sierra Madre Occidental, al este con la Sierra Madre Oriental y tiene un punto de contacto en el extremo sur con la Mesa del Centro. La zona se caracteriza por la presencia de sierras asimétricas y paralelas, orientadas hacia el noroeste. Los elementos orográficos están separados por amplios valles como el que ocupa la mayor parte del área.

En esta provincia predominan las rocas volcánicas ácidas y en menor proporción las basálticas. Sólo en la porción suroriental afloran calizas y conglomerados. Los aluviones en general cubren los llanos y a veces tienen acumulaciones salitrosas denominadas barriales. En la región la morfología es de bolsones, esto es, de cuencas con drenaje interno, más o

menos rodeadas de sierras de las que se extienden las amplias bajadas aluviales sobre las llanuras centrales.

1.3.3 CLIMA

En la superficie del acuífero Bajo Río Conchos, predomina el clima de tipo árido y extremoso, que corresponde a un clima muy seco, templado; de temperatura media anual entre 12 y 18 °C, la temperatura media del mes más frío oscila entre -3 y 18 °C, la temperatura media del mes más cálido es mayor de 18 °C, con lluvias de verano, con porcentaje de precipitación invernal entre 5 y 10.2 %, y verano cálido.

Los valores promedio anuales de las variables climatológicas son 331 mm, 19.2 °C y 1,830 mm, para la precipitación, temperatura y evaporación potencial, respectivamente.

1.3.4 GEOLOGÍA

La región en la que se ubica el acuífero Bajo Río Conchos, presenta una distribución geológica por rocas metamórficas, sedimentarias marinas y continentales, ígneas extrusivas e intrusivas, que varían en edad desde el Precámbrico hasta el Terciario, asimismo existen depósitos del Cuaternario.

El basamento Precámbrico de la región está constituido por anfibolitas afectadas por intrusivos graníticos. Las unidades sedimentarias marinas comprenden rocas carbonatadas de facies de aguas someras y profundas, las primeras representadas por rocas carbonatadas de facies de plataforma, con edades desde el Paleozoico hasta el Cretácico Superior; las segundas se encuentran formadas por sedimentos arcillo-arenosos tipo flysch, además de arcillo-calcareos y calcáreo-arcillosos en la cima del Jurásico Superior y Cretácico. Las rocas ígneas extrusivas se presentan en forma de derrames de origen fisural y de composición riolítica, andesítica y basáltica, asimismo existen unidades tobáceas riolíticas. Los depósitos del Cuaternario cubren un alto porcentaje de la superficie de la región, constituidos por conglomerados, limo-arcillosos, eólicos, de talud y aluviales.

La estratigrafía del área está constituida por rocas sedimentarias, volcánicas e ígneas intrusivas, cuya edad varía desde el Jurásico al Holoceno. Predominan las rocas mesozoicas y están representadas por formaciones sedimentarias principalmente calcáreas y en menor proporción calcáreo-dendríticas; mientras que las unidades del Terciario están constituidas básicamente por rocas volcánicas extrusivas y cuerpos intrusivos aislados. Las unidades del Mioceno se encuentran representadas por conglomerados polimícticos con una distribución amplia, así mismo por rocas riolíticas; mientras que el Holoceno está evidenciado por conglomerados polimícticos, depósitos eólicos, lacustres y aluviales.

En el Mesozoico se desarrolla una secuencia sedimentaria del Jurásico Superior que marca el inicio de la sedimentación en la Cuenca de Chihuahua. Los sedimentos son calcáreos y evaporíticos con horizontes de terrígenos representados por la Formación La Casita. Durante el Cretácico se depositaron calizas y lutitas de la Formación Tamaulipas Superior que se encuentra cubierta concordantemente por la caliza arrecifal de la Formación Glen Rose.

Para el Terciario se tiene actividad volcánica continental que inicia en el Oligoceno, representada por riolitas y tobas riolíticas de origen fisural; en el Mioceno se originan depósitos continentales constituidos por un conglomerado polimíctico.

Por último, el Cuaternario está representado por areniscas y limolitas ligeramente compactadas del Pleistoceno y el Holoceno por depósitos lacustres presentes principalmente en la margen de la Sierra La Boquilla. Arenas y limos rellenan las zonas topográficamente bajas. Como etapa final se tiene sobre los cauces de los ríos y arroyos depósitos de aluviones.

En general, se reconocen estructuras producidas por esfuerzos eminentemente compresivos originando plegamientos y cabalgaduras sobre las rocas mesozoicas las que en consecuencia han sido deformadas en diferentes grados de acuerdo a su competencia, presentando posteriormente esfuerzos de distensión asociados a la estructuración de cuencas y sierras.

1.3.4.1 Geología del subsuelo

El acuífero está constituido principalmente por rocas sedimentarias: calizas que conforman las partes altas de los cerros que cortan transversalmente el acuífero, conglomerados en las faldas de los cerros, aluvión en las partes bajas y planas. Al sur afloran rocas ígneas riolíticas y al norte hay afloramientos de intrusivos.

1.3.5 HIDROGEOLOGÍA

1.3.5.1 Tipo de acuífero

Las evidencias geológicas e hidrogeológicas permiten establecer la presencia de un acuífero de tipo libre, heterogéneo y anisótropo, conformado por un medio granular y otro fracturado subyacente. Está constituido, en su parte superior, por un medio granular caracterizado por la presencia de depósitos clásticos y conglomerados que se encuentran rellenando el valle, cuyo espesor puede alcanzar varias centenas de metros al centro de las fosas tectónicas.

1.3.5.2 Parámetros hidráulicos

En el territorio que cubre el acuífero no se han realizado pruebas de bombeo para la determinación de las propiedades hidráulicas del acuífero.

1.3.5.3 Profundidad y Elevación del nivel estático

No se cuenta con información piezométrica histórica que permita elaborar las configuraciones de profundidad, elevación y evolución del nivel estático. Las escasas mediciones piezométricas recabadas de acuerdo a los informes de CONAGUA se encuentran dispersas en el espacio y no cubren en su totalidad la extensión superficial del acuífero.

1.3.5.4 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

La porción inferior está alojada en un medio fracturado desarrollado en rocas volcánicas y sedimentarias. A mayor profundidad las rocas calizas de las formaciones Buda y Aurora constituyen horizontes acuíferos que no han sido explorados en la zona, pero que en otras regiones han mostrado un potencial favorable. Debido a que estas formaciones se encuentran sobreyacidas por lutitas o secuencias de lutitas y areniscas, pueden presentar condiciones de confinamiento.

Los rellenos que están por encima de los niveles de saturación actúan como transmisores del agua hacia las formaciones subyacentes, especialmente en las sierras que delimitan el acuífero, en donde funcionan como zonas de recarga; en caso contrario actúan conjuntamente con los depósitos de relleno de valles como una sola unidad geohidrológica.

Con respecto a la calidad del agua, la salinidad en el Bajo Río Conchos es en gran parte de origen natural, debido al material geológico con alto contenido de sales que aflora en esta parte de la cuenca, así como a las altas tasas de evaporación que imperan (INEGI, 1999). Otras fuentes potenciales de salinidad incluyen drenes agrícolas y aguas residuales que se incorporan al río en varios puntos.

En 1997, la salinidad a lo largo del Bajo Río Conchos, expresada en términos de conductividad eléctrica, aumentó de 0.26 dS m^{-1} a la altura de Camargo a 2.03 dS m^{-1} después de recibir descargas de irrigación cerca de Delicias, para luego disminuir a 1.89 dS m^{-1} en Cuchillo Parado y a 1.86 dS m^{-1} a su desembocadura.

La variación de la salinidad del bajo río Conchos con respecto al tiempo fluctúa de manera considerable y presenta una tendencia de aumento.

1.4 ALAMO CHAPO

1.4.1 INFORMACIÓN GENERAL

El acuífero Alamo Chapo, clave 0842, es uno de los acuíferos transfronterizos con poca información con respecto a la calidad del agua, parámetros hidráulicos, profundidad y nivel estático. Al ser uno de los acuíferos cercanos a la frontera el conocimiento de los puntos antes mencionados es esencial para mantener una correcta gestión de los recursos.

1.4.1.1 Localización

El acuífero Álamo Chapo, se localiza en la porción oriental del Estado de Chihuahua, cubriendo una superficie de $4,922 \text{ Km}^2$; comprende los municipios de Ojinaga y Manuel Benavides, y administrativamente corresponde a la Región Hidrológico-Administrativa Río Bravo (Figura 1.1.12).



Figura 1.1.12. Localización del acuífero Alamo Chapo

1.4.2 FISIOGRAFÍA

1.4.2.1 Provincias fisiográficas

El acuífero Álamo Chapo, se encuentra ubicado dentro de la Provincia Fisiográfica Sierras y Llanuras del Norte, dentro de la Subprovincia Llanuras y Sierras Volcánicas.

La Provincia Sierras y Llanuras del Norte es una provincia árida y semiárida que se extiende desde el suroeste de los Estados Unidos de América hasta cerca de Nazas en Durango y la Laguna de Mayrán en Coahuila. Dentro del territorio mexicano, al sur del Río Bravo, colinda al oeste con la Sierra Madre Occidental, al este con la Sierra Madre Oriental y tiene un punto de contacto en el extremo sur con la Mesa del Centro. La zona se caracteriza por la presencia de sierras asimétricas y paralelas, orientadas hacia el noroeste. Los elementos orográficos están separados por amplios valles como el que ocupa la mayor parte del área.

La Subprovincia Llanuras y Sierras Volcánicas representada por sierras escarpadas con mesetas, se localiza en el costado oriente de la entidad, a manera de una franja orientada norte-sur que va del noroeste de Ojinaga y el límite boreal con Coahuila, al sur de la Sierra Las Pampas y el oriente de la Sierra El Diablo.

1.4.3 CLIMA

En la superficie del acuífero Álamo Chapo, predomina el clima de tipo árido y extremo, que corresponde a un clima muy seco, templado; de temperatura media anual entre 12 y 18 °C; la temperatura media del mes más frío oscila entre -3 y 18 °C; la temperatura media del mes más cálido es mayor de 18 °C.

Los valores promedio anuales de las variables climatológicas son 316 mm, 18.3°C y 1,780 mm, para la precipitación, la temperatura y la evaporación potencial, respectivamente.

1.4.4 GEOLOGÍA

En esta zona el 50% del área está cubierta por rocas de origen ígneo extrusivo, riolitas y tobas ácidas del Terciario. También existen en la porción central, rocas sedimentarias, areniscas y conglomerados y al noreste calizas arcillosas. Las partes bajas están conformadas por material aluvial (Figura 1.1.13).

En la región en la que se ubica el acuífero Álamo Chapo, las relaciones estratigráficas entre las unidades Cretácicas son transicionales y concordantes. Las rocas extrusivas de tipo andesítico que dieron origen a la Sierra Madre Occidental, durante la primera fase volcánica, sobreyacen discordantemente a las rocas sedimentarias Cretácicas, que a su vez infrayacen de igual forma a tobas del Oligoceno-Mioceno y a rocas sedimentarias del Terciario Superior. La segunda fase volcánica la representan tobas de composición riodacítica y riolítica con intercalación de volcanoclásticos, así como riolita del Oligoceno Mioceno que en ocasiones extruyeron a través de fracturas; estas unidades sobreyacen en discordancia a las rocas del Complejo Volcánico Inferior Mc Dowell y Clabaugh.

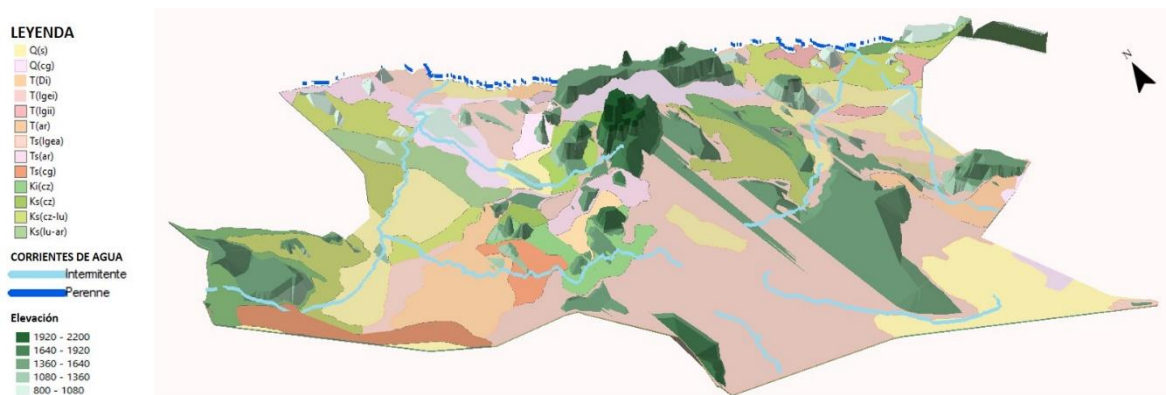


Figura 1.1.13. Geología general del acuífero Álamo -Chapo

La columna estratigráfica incluye rocas sedimentarias, volcánicas e ígneas intrusivas, cuya edad varía desde el Cretácico al Holoceno. Las rocas mesozoicas son las más abundantes y están representadas por formaciones sedimentarias principalmente calcáreas y en menor proporción calcáreo-dendríticas; mientras que las unidades del Terciario están constituidas básicamente por rocas volcánicas extrusivas y cuerpos intrusivos aislados. Las unidades del Mioceno se encuentran representadas por conglomerados polimícticos con una distribución amplia, asimismo por rocas riolíticas; mientras que el Holoceno está evidenciado por conglomerados polimícticos, depósitos eólicos, lacustres y aluviales.

La secuencia mesozoica define estructuras plegadas, recostadas hacia el noreste, en ocasiones aparecen dislocadas por fallas inversas. Los cuerpos intrusivos aparecen recortados por fallas normales de orientación general norte-sur, al igual que la secuencia piroclástica del Terciario. Los anticlinales y sinclinales, amplios y simétricos con inclinación en sus flancos de 5 a 10 grados y orientación de los ejes estructurales noroeste-sureste. El desarrollo de este tipo de estructuras suaves y abiertas fue debido a la competencia de la roca calcárea, a los esfuerzos de compresión.

La deformación discontinua está representada por dos tipos, las fallas de compresión y distensión. Las fracturas forman dos familias una con orientación noreste-suroeste y la otra noroeste-sureste, que afectan a las unidades sedimentarias e ígneas. Estructuras de origen ígneo extrusivo, se encuentran diseminadas en el área y se representan por derrames lávicos, conos y mesetas.

1.4.5 HIDROGEOLOGÍA

1.4.5.1 Tipo de acuífero

El acuífero Álamo Chapo, es heterogéneo y anisótropo, en general de tipo libre, conformado por un medio granular y otro fracturado subyacente. Está constituido, en su parte superior, por un medio granular caracterizado por la presencia de depósitos clásticos y conglomerados que se encuentran relleno el valle. La porción inferior está alojada en un medio fracturado desarrollado en rocas volcánicas y sedimentarias.

A mayor profundidad las rocas calizas de las formaciones Buda y Aurora constituyen horizontes acuíferos que no han sido explorados en la zona pero que en otras regiones han mostrado un potencial favorable. Debido a que estas formaciones se encuentran sobreyacidas por lutitas o secuencias de lutitas y areniscas, pueden presentar condiciones de confinamiento.

Los rellenos que están por encima de los niveles de saturación actúan como transmisores del agua hacia las formaciones subyacentes, especialmente en las sierras que delimitan el acuífero, en donde funcionan como zonas de recarga; en caso contrario actúan conjuntamente con los depósitos de relleno de valles como una sola unidad geohidrológica.

1.4.5.2 Parámetros hidráulicos

En el territorio que cubre el acuífero no se han realizado pruebas de bombeo para la determinación de las propiedades hidráulicas del acuífero.

1.4.5.3 Profundidad y Elevación del nivel estático

No se cuenta con información piezométrica histórica que permita elaborar las configuraciones de profundidad, elevación y evolución del nivel estático. Las escasas mediciones piezométricas recabadas de acuerdo a los informes de CONAGUA se encuentran dispersas en el espacio y no cubren en su totalidad la extensión superficial del acuífero.

1.5 MANUEL BENAVIDES

1.5.1 INFORMACIÓN GENERAL

El acuífero Manuel Benavides, clave 0839, es uno de los acuíferos fronterizos con poca a casi nula información de su situación actual, la geología y el tipo de acuífero se ha

determinado por su similitud con los acuíferos adyacentes. Al ser uno de los acuíferos cercanos a la frontera el conocimiento de su información hidrogeológica es esencial para mantener una correcta gestión de los recursos.

1.5.1.1 Localización

El acuífero Manuel Benavides (Figura 1.1.14) se localiza en la porción noreste del estado de Chihuahua, abarcando una superficie de 2,401 Km²; comprende parcialmente los municipios de Manuel Benavides y en su extremo sur al de Camargo, ambos del Estado de Chihuahua, administrativamente corresponde a la Región Hidrológico-Administrativa Río Bravo.

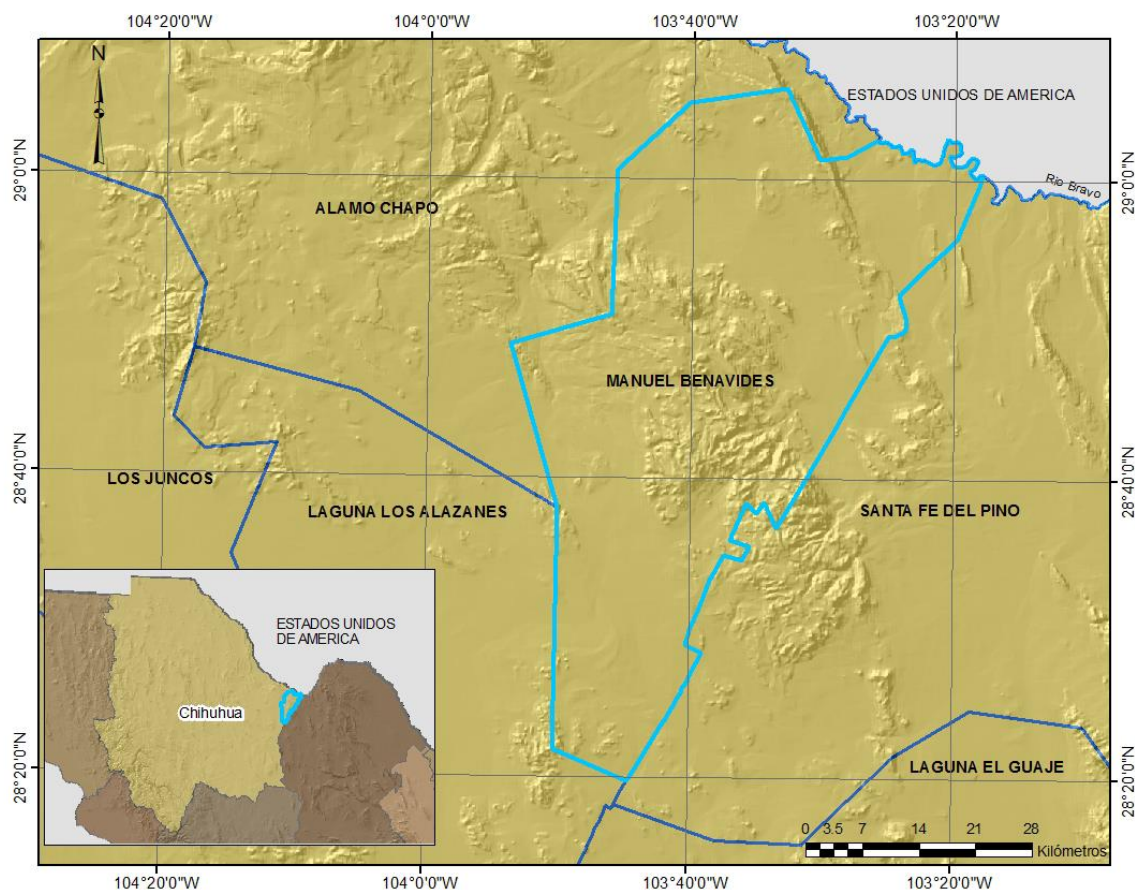


Figura 1.1.14. Localización del acuífero Manuel Benavides

1.5.2 FISIOGRAFÍA

1.5.2.1 Provincias fisiográficas

De acuerdo con la clasificación fisiográfica del INEGI, la mayor parte del acuífero pertenece a la Provincia Sierra Madre Oriental y a la subprovincia Sierras y Llanuras Coahuilenses, en esta región dominan los Litosoles y Rendzinas, también se encuentran Regosoles

Calcáricos, Xerosoles lúvicos y cálcicos, Planosol mólico, Feozem háplico, Castañozem háplicos, Solonchak órtico y Vertisol crómico.

Una pequeña porción del acuífero pertenece a la Provincia Sierras y Llanuras del Norte y a la subprovincia de las Llanuras y Sierras Volcánicas, donde se encuentra en abundancia Xerosoles y Yermosoles, que son suelos típicamente localizados en zonas con clima seco o semiseco.

1.5.3 CLIMA

En la superficie del acuífero Manuel Benavides, predomina el clima de tipo árido y extremoso, que corresponde a un clima muy seco, templado; de temperatura media anual entre 12 y 18 °C; la temperatura media del mes más frío oscila entre -3 y 18°C, la temperatura media del mes más cálido es mayor de 18 °C, con lluvias de verano.

Los valores promedio anuales de las variables climatológicas son: 250 mm, 11.0 a 19.0 °C y 1,765 mm, para la precipitación, temperatura y evaporación potencial, respectivamente.

1.5.4 GEOLOGÍA

Al centro y sur del área de estudio, los cerros se encuentran formados por rocas ígneas extrusivas de composición ácida (riolitas y tobas); al norte existen afloramientos de calizas arcillosas. Gran parte del área está cubierta por material aluvial. También existen algunos intrusivos dioríticos al norte (Figura 1.1.15).

La columna estratigráfica en el acuífero Manuel Benavides, incluye rocas sedimentarias, volcánicas e ígneas intrusivas, cuya edad varía desde el Cretácico al Holoceno. Las rocas mesozoicas son las más abundantes y están representadas por formaciones sedimentarias principalmente calcáreas y en menor proporción calcáreo-dendríticas; mientras que las unidades del Terciario están constituidas básicamente por rocas volcánicas extrusivas y cuerpos intrusivos aislados. Las unidades del Mioceno se encuentran representadas por conglomerados polimícticos con una distribución amplia, asimismo, por rocas riolíticas; mientras que el Holoceno está evidenciado por conglomerados polimícticos, depósitos eólicos, lacustres y aluviales.

La secuencia estratigráfica que constituye la cuenca de Chihuahua presenta relaciones estratigráficas concordantes y transicionales entre sí. La base está representada por areniscas, lutitas y conglomerados de la Formación Las Vigas, sobreyacida por la Formación Cuchillo, integrada por calizas y lutitas de edad Barremiano-Aptiano, a la cual le sobreyace la Formación Benigno de edad Albiano, continúa con el depósito de la Formación Walnut, conformada por calizas y lutitas a la que sobreyace la Formación Finlay, que consta de calizas, cubierta por la Formación Benavides, constituida por calizas y lutitas, continúa con la Formación Loma de Plata, conformada por calizas de estratos gruesos, sobre la que se deposita la Formación del Río, compuesta por lutitas y calizas, a ésta le sobreyace la Formación Buda.

La secuencia mesozoica define estructuras plegadas, recostadas hacia el noreste, en ocasiones aparecen dislocadas por fallas inversas. Los cuerpos intrusivos aparecen

recortados por fallas normales de orientación general norte-sur, al igual que la secuencia piroclástica del Terciario. Los anticlinales y sinclinales, amplios y simétricos con inclinación en sus flancos de 5 a 10 grados y orientación de los ejes estructurales noreste-suroeste. El desarrollo de este tipo de estructuras suaves y abiertas fue debido a la competencia de la roca calcárea, a los esfuerzos de compresión.

La deformación discontinua está representada por dos tipos, las fallas de compresión y distensión. De las primeras se observaron pliegues y fallamiento inverso de poca magnitud convergencia hacia el noreste, así como de cabalgadura. Las estructuras distensivas, están representadas por fallas normales y fracturas; las primeras guardan una orientación noreste-suroeste principalmente, con variaciones norte-sur, son las causantes de la separación de los bloques sedimentarios y la formación de fosas tectónicas.

Las fracturas forman dos familias una con orientación noreste-suroeste y la otra noroeste-sureste, que afectan a las unidades sedimentarias e ígneas. Estructuras de origen ígneo extrusivo, se encuentran diseminadas en el área y están representadas por derrames lávicos, conos y mesetas.

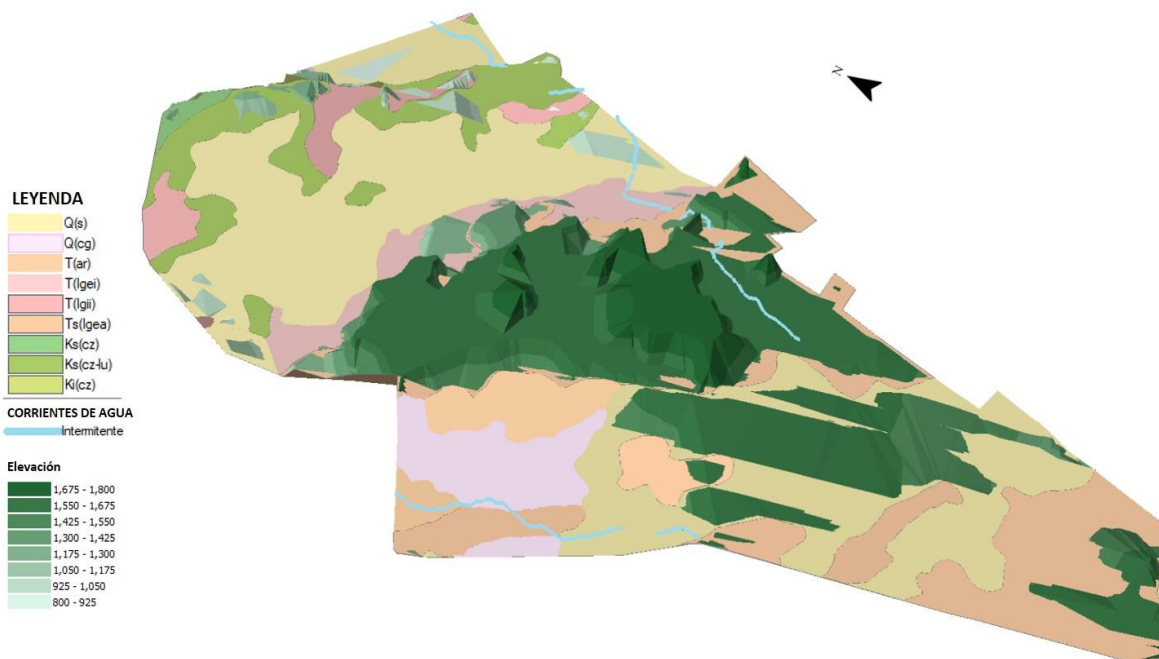


Figura 1.1.15. Geología general del acuífero

1.5.4.1 Geología del subsuelo

El acuífero está constituido, en su parte superior, por un medio granular caracterizado por la presencia de depósitos clásticos y conglomerados que se encuentran rellenando el valle. La porción inferior está alojada en un medio fracturado desarrollado en rocas volcánicas y sedimentarias.

A mayor profundidad las rocas calizas de las formaciones Buda y Aurora constituyen horizontes acuíferos que no han sido explorados en la zona pero que en otras regiones han

mostrado un potencial favorable. Debido a que estas formaciones las sobreyacen lutitas o secuencias de lutitas y areniscas, pueden presentar condiciones de confinamiento.

1.5.5 HIDROGEOLOGÍA

1.5.5.1 Tipo de acuífero

El acuífero Manuel Benavides, es heterogéneo y anisótropo, en general de tipo libre, conformado por un medio granular y otro fracturado subyacente.

Los rellenos que están por encima de los niveles de saturación actúan como transmisores del agua hacia las formaciones subyacentes, especialmente en las sierras que delimitan el acuífero, en donde funcionan como zonas de recarga; en caso contrario actúan conjuntamente con los depósitos de relleno de valles como una sola unidad geohidrológica.

1.5.5.2 Parámetros hidráulicos

En el territorio que cubre el acuífero no se han realizado pruebas de bombeo para la determinación de las propiedades hidráulicas del acuífero.

1.5.5.3 Profundidad y Elevación del nivel estático

No se cuenta con información piezométrica histórica que permita elaborar las configuraciones de profundidad, elevación y evolución del nivel estático. Las escasas mediciones piezométricas recabadas de acuerdo a los informes de CONAGUA se encuentran dispersas en el espacio y no cubren en su totalidad la extensión superficial del acuífero.

1.6 SANTA FE DEL PINO

1.6.1 INFORMACIÓN GENERAL

El acuífero Santa Fe del Pino pertenece al Organismo de Cuenca VI "Río Bravo" y es jurisdicción territorial de la Dirección Local en Coahuila. En el territorio completo del acuífero no rige ningún decreto de veda para la extracción de agua subterránea.

El principal usuario es de tipo doméstico. Geopolíticamente, el acuífero Santa Fe del Pino ocupa la porción norte del municipio Ocampo y en menor proporción a los municipios de Acuña, Múzquiz, San Buenaventura y Sierra Mojada, todos ellos pertenecientes al estado de Coahuila.

1.6.1.1 Localización

El Acuífero Santa Fe del Pino, clave 0515, se localiza en la porción noroeste del estado de Coahuila, entre los paralelos 27° 58' y 29° 18' de latitud norte y los meridianos 102° 16' y 103° 46' de longitud oeste, abarca una superficie aproximada de 10,362 Km².

Limita al norte con los Estados Unidos de América; al este con los acuíferos Serranía del Burro, Región Carbonífera y Monclova; al sur con Laguna el Guaje y Cuatro Ciénegas-Ocampo, todos ellos pertenecientes al estado de Coahuila; al oeste limita con los acuíferos

Manuel Benavides y Laguna los Alazanes, pertenecientes al estado de Chihuahua (Figura 1.1.16).

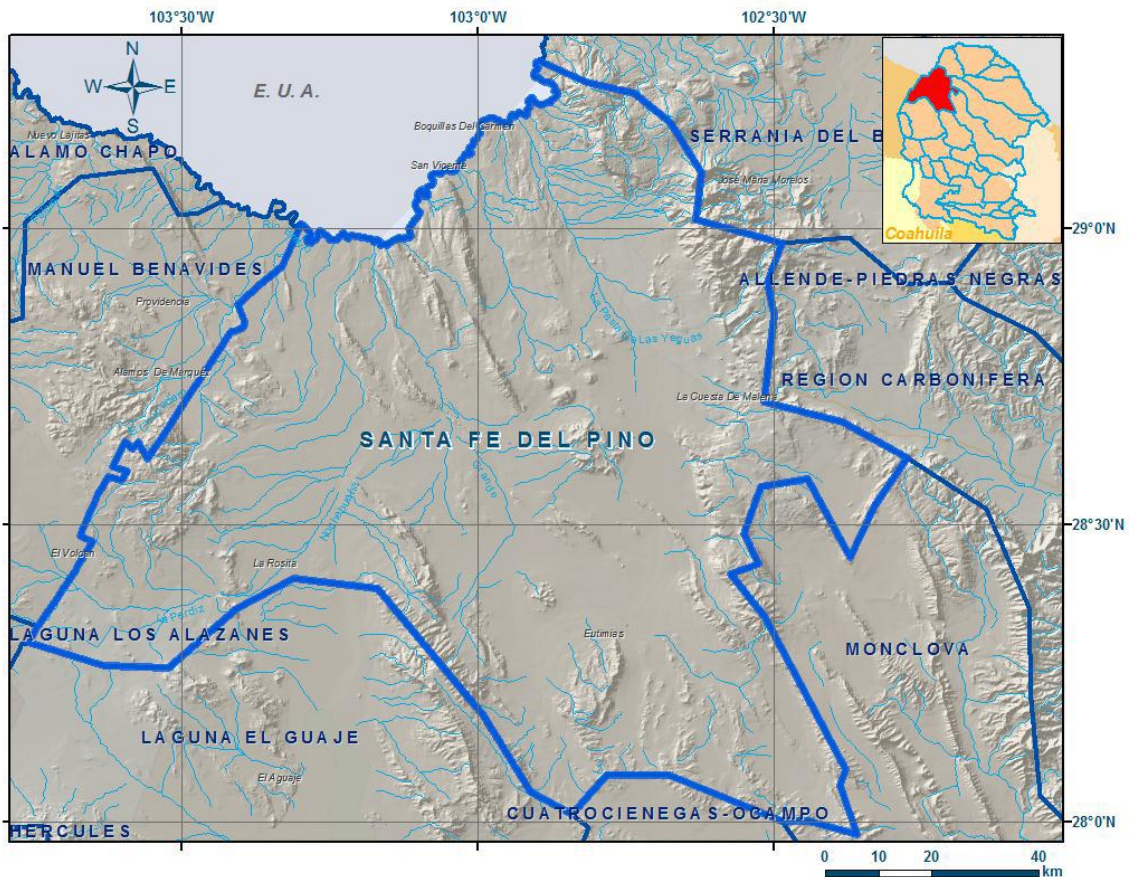


Figura 1.1.16. Localización del acuífero Santa Fe del Pino

1.6.2 FISIOGRAFÍA

1.6.2.1 Provincias fisiográficas

De acuerdo con la clasificación fisiográfica del INEGI, la mayor parte del acuífero pertenece a la Provincia Sierra Madre Oriental y a la subprovincia Sierras y Llanuras Coahuilenses, en esta región dominan los Litosoles y Rendzinas, también se encuentran Regosoles Calcáricos, Xerosoles lúvicos y cálcicos, Planosol mólico, Feozem háplico, Castañozem háplicos, Solonchak órtico y Vertisol crómico.

Una pequeña porción del acuífero pertenece a la Provincia Sierras y Llanuras del Norte y a la subprovincia de las Llanuras y Sierras Volcánicas, donde se encuentra en abundancia Xerosoles y Yermosoles, que son suelos típicamente localizados en zonas con clima seco o semiseco.

1.6.3 CLIMA

Para las condiciones de la República Mexicana, los climas predominantes para el acuífero Santa Fe del Pino se clasifican como tipo muy seco, semicálido y con lluvias en verano.

Se determinaron valores de precipitación y temperatura media anual de 260 mm y 19 °C respectivamente. De igual manera, con respecto a la evaporación potencial, se obtuvo un valor de 2,140 mm anuales.

El régimen pluvial presenta, en términos generales, dos periodos de ocurrencia, uno de mayo a octubre, que es cuando se registran los valores más altos y otro de noviembre a abril, con precipitaciones menos significativas. En cuanto a la distribución anual de la temperatura media, esta es de 20°C en la parte central y disminuye a 14°C en las elevaciones topográficas del oriente.

1.6.4 GEOLOGÍA

La geología regional está representada básicamente por rocas sedimentarias marinas y continentales y se encuentra controlada por los paleoelementos denominados: Cuenca de Chihuahua, Golfo de Sabinas y Plataforma del Burro Peyotes. La distribución de las diferentes unidades litológicas se presenta en la Figura 1.1.17.

Estratigráficamente las rocas más antiguas que afloran en la región, están en el Golfo de Sabinas representadas por una secuencia de lutita, calcarenita oolítica, arenisca, limolita y dolomita que representan a la Formación La Mula, (KhbLu-Cz). En cambio de facies se presenta una secuencia alternada de yesos y capas delgadas de caliza con textura mudstone a wackestone con fragmentos de conchas que integran a la Formación La Virgen, (KhapCz-Y).

Sobreyaciendo concordantemente y presente en los tres paleoelementos aflora la Formación Cupido, (Khap Cz); que consiste de una secuencia de estratos delgados a medios de dolomía arenosa, asociados con estromatolitos y oolitos. La parte superior es caliza en estratos medios a gruesos de textura mudstone a wackestone, sobreyaciendo de forma concordante. La Formación La Peña (KapCz-Lu) es una secuencia de caliza arcillosa de estratos delgados alternando con lutita calcárea, presenta nódulos de pedernal y el fósil índice *Dufrenoya justinae* (Hill) del Aptiano.

Sobreyaciendo concordantemente aflora la Formación Aurora, (KaCz-Do) constituida por caliza de estratificación media a masiva con textura mudstone-wackestone, tiene horizontes de dolomía, nódulos de pedernal y estilolitas paralelas a la estratificación.

Esta unidad es correlacionable con el complejo arrecifal El Burro, por cambio de facies lateral en la plataforma del Burro-Peyotes, el cual Glen Rose (Ka(i)Cz-Lu) constituida por caliza con líneas estilolíticas, de estratificación gruesa; la West-Nueces (KaLu) formada por lutitas con moluscos y conchas, con intercalación de caliza de textura wackestone; la Formación Edwards (KaCz-Lu) representada por caliza de textura mudstone-wackestone con miliólidos y nódulos de pedernal en estratificación delgada, con algunas intercalaciones de lutita; además con la Formación Finlay-Bronce (KaCz-Lu1) en la Cuenca de Chihuahua, constituida por caliza intercalada con caliza arcillosa y lutita calcárea, en estratos delgados a medios.

Sobreyaciendo concordantemente en el Golfo de Sabinas se tiene a la Formación Kiamichi, en la plataforma del Burro Peyotes la Formación Mc Knigth y en la cuenca de Chihuahua a la Formación Benevides (KaLu-Cz); en general están integradas por un miembro inferior de lutita, un intermedio de caliza margosa y uno superior que contiene intercalaciones de lutita y caliza.

En el mismo orden de los paleoelementos se encuentran sobreyaciendo de forma concordante las formaciones Georgetown, Salomón Peak y en la Cuenca de Chihuahua la Formación Santa Elena en un cambio de facies Loma de Plata (KaCz); constituidas en general por caliza muy fosilífera, textura mudstone-wackestone, con nódulos y lentes de pedernal. La Formación del Río, (KceLu-Cz) sobreyace concordantemente a las formaciones antes citadas, está formada por lutita y caliza delgada que subyacen concordantemente a la Formación Buda (KceCz) conformada por caliza de textura mudstone a wackestone, de estratificación delgada a media que presentan estructuras de tipo "boudinage".

Concordantemente aflora la Formación Eagle Ford y en la Cuenca de Chihuahua corresponde a las formaciones Boquillas y Ojinaga (KcetLu-Cz) representadas por lutita y caliza arcillosa, que contienen *Inoceramus labiatus*. La Formación Austin sobreyace concordantemente a la Formación Eagle Ford y en la Cuenca de Chihuahua a las Formación San Vicente (KcossCz- Lu), están formadas por estratos medianos de caliza con horizontes delgados de lutita.

En este mismo paleoelemento sobreyaciendo concordantemente aflora la Formación Pen (KcossLu-Cz) que consiste de caliza de estratificación delgada interestratificada con lutita calcárea arenosa, en estratos de caliza de color negro y escasos lentes de carbón, en ocasiones es muy arenosa; sobreyaciendo concordantemente se encuentra la Formación Aguja (KsscAr-Lu) constituida por arenisca con alternancia de lutita muy deleznable con abundantes fragmentos de huesos de diversas medidas, muchos de los cuales pueden ser de dinosaurio y troncos de madera petrificada.

Una secuencia de rocas volcánicas del Terciario se encuentra cubriendo discordantemente al paquete sedimentario. Se diferenciaron dos miembros del Oligoceno, el primero se localiza al noroeste y suroeste de la carta, y consiste de andesita y toba andesítica, (ToA-TA) el segundo, que aflora al noroeste, oeste y sureste, está compuesto por riolita y toba riolítica, (To R-TR) y cuerpos de basalto (ToB). Así mismo en el área se presentan cuerpos intrusivos que Gabro (KmGa), cuarzomonzonita (TeqMz), pórfido andesítico (ToPA), pórfido riolítico (ToPR), monzonita (ToMz), diorita-granito (ToD-Gr), cuarzolatita (Tpl qLa) y pórfido granítico (TplPGr). Localizados al noroeste de la zona, estos cuerpos se encuentran afectando a la secuencia sedimentaria en forma de troncos, diques y sills; forma en algunos casos rocas metamórficas de contacto como skarn y zonas marmorizadas. En el Plioceno se tienen depósitos de conglomerado polimíctico (TplCgp). Por último se tiene sedimentos Cuaternarios como gravas y boleas, sedimentos de coluvión, aluvión y depósitos lacustres.

LEYENDA

- Q(s)
- Q(cg)
- T(lgei)
- T(lgia)
- T(lgii)
- T(Pr)
- Ts(lgea)
- Ks(cz)
- Ks(cz-lu)
- Ks(lu-ar)
- Ki(cz-lu)
- Ki(cz)

CORRIENTES DE AGUA
Intermitente

Elevación

- 2,350 - 2,600
- 2,100 - 2,350
- 1,850 - 2,100
- 1,600 - 1,850
- 1,350 - 1,600
- 1,100 - 1,350
- 850 - 1,100
- 600 - 850

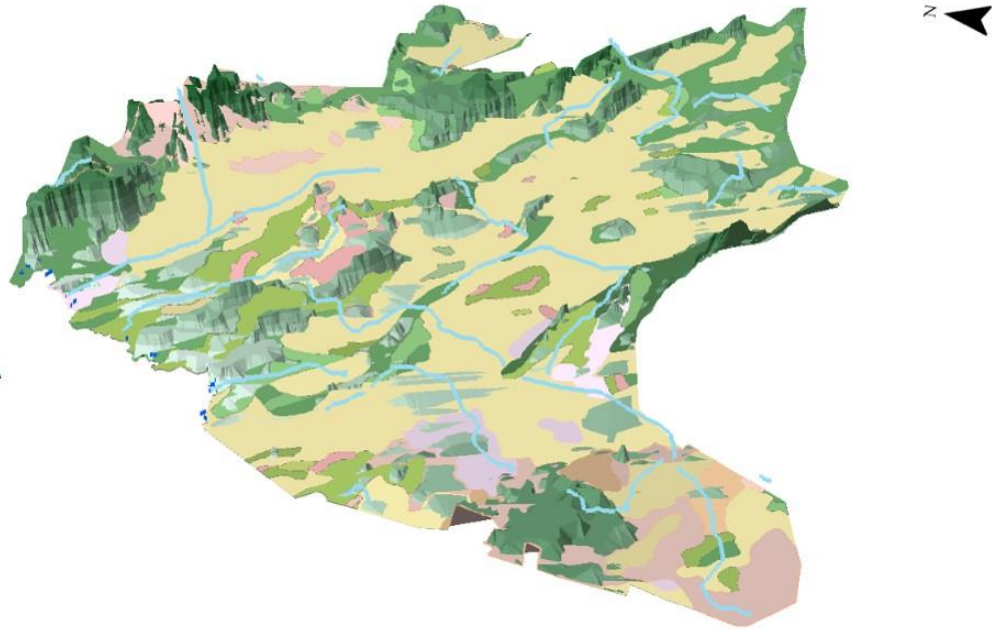


Figura 1.1.17. Geología general del acuífero Santa Fe del Pino

1.6.4.1 Geología del subsuelo

De acuerdo a informes de la CONAGUA, el acuífero Santa Fe del Pino se encuentra alojado, en su porción superior, en los sedimentos aluviales de granulometría variable y conglomerados, de permeabilidad media a alta, que constituyen las extensas planicies y los piedemonte, cuyos espesores al centro de los valles es de varios cientos de metros. La porción inferior está conformada por rocas sedimentarias como calizas, calizas arcillosas y lutitas calcáreas de las formaciones La Virgen, Cupido, La Peña y Aurora, que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento, que constituyen horizontes acuíferos profundos que no han sido explorados en la zona.

Las fronteras al flujo subterráneo y el basamento geohidrológico del acuífero están representados por las mismas rocas sedimentarias al desaparecer el fracturamiento, así como las rocas volcánicas extrusivas, los intrusivos y los productos de metamorfismo de contacto que produjo su intrusión (calizas marmorizadas, skarns y hornfels) (Figura 1.1.18).

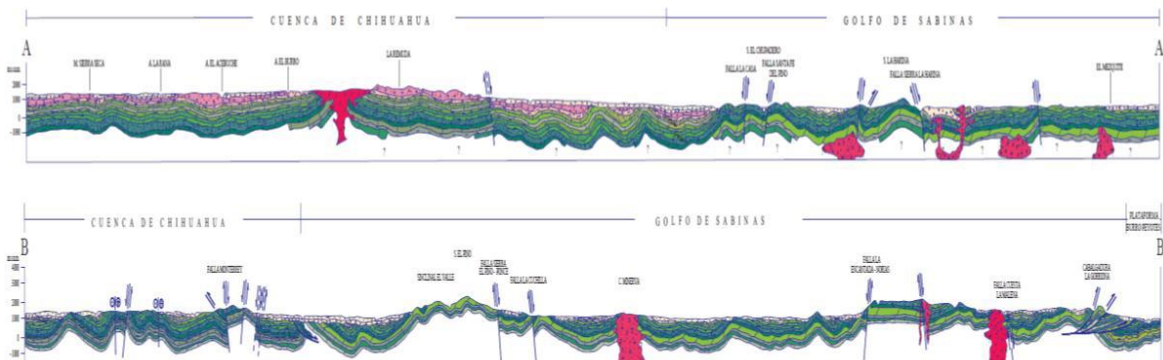


Figura 1.1.18. Sección Geológica Esquemática (Fuente: Carta Geológica-Minera H13-12 "San Miguel" Esc. 1:250,000 (SGM, 2008))

1.6.5 HIDROGEOLOGÍA

1.6.5.1 Tipo de acuífero

El acuífero se define de tipo libre, heterogéneo y anisótropo, tanto en sentido vertical como horizontal, constituido en su porción superior, por sedimentos aluviales de granulometría variada y conglomerados, producto de la erosión de las rocas que constituyen las sierras que delimitan las planicies, cuyo espesor puede alcanzar varios metros en el centro del valle, localizado en las partes bajas de los valles, en el que el agua circula por arcillas, gravas y arenas de permeabilidad media y baja.

El acuífero del valle se ha venido recargando a lo largo de varios años, a partir de la poca infiltración de agua de lluvia. La descarga mediante pozos es prácticamente nula.

1.6.5.2 Parámetros hidráulicos

En el año 2010 se obtuvieron valores de transmisividad que variaron entre 0.77×10^{-3} y 0.01×10^{-3} m²/s para la mayoría de los pozos analizados, sólo en dos pozos se obtuvieron valores altos de 13.33 y 22.31×10^{-3} m²/s.

1.6.5.3 Profundidad y elevación del nivel estático

No se cuenta con información piezométrica histórica que permita elaborar las configuraciones de profundidad, elevación y evolución del nivel estático. Las escasas mediciones piezométricas recabadas de acuerdo a los informes de CONAGUA se encuentran dispersas en el espacio y no cubren en su totalidad la extensión superficial del acuífero.

1.6.5.4 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

En el año 2010 se determinaron las concentraciones de los diferentes iones y elementos de algunas muestras concluyendo que algunos sobrepasan los límites máximos permisibles que establece la Norma Oficial Mexicana, como es el caso de la concentración de sólidos totales disueltos (STD), que presenta valores que varían de 220 a 4,830 ppm, sobrepasando el límite máximo permisible de 1,000 ppm establecido la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 de STD para el agua destinada al consumo humano.

De acuerdo con el criterio de Wilcox, que relaciona la conductividad eléctrica con la Relación de Adsorción de Sodio (RAS), el agua extraída en los aprovechamientos (norias) del norte del acuífero y en los manantiales de los alrededores de San Miguel se clasifican como de salinidad baja (C1) y contenido bajo de sodio intercambiable (S1), la cual es apropiada para el riego agrícola sin restricción alguna en el tipo de suelos, cultivos y en el resto de los aprovechamientos se clasificaron como de alta salinidad (C3) y alto contenido de sodio intercambiable (C3), por lo que no son recomendables para uso agrícola.

Con respecto a las concentraciones de elementos mayores por ion dominante, se identificó 2 tipos de familia dominante: una donde predominan los sulfatos, ya sean combinados con calcio o con sodio, se presentan en los aprovechamientos con alta salinidad y se debe a la

disolución de yesos y anhidritas y la otra familia de agua es la bicarbonatada o mixta por parte de los aniones, la cual se encuentra en los aprovechamientos con baja salinidad.

1.7 SERRANÍA DEL BURRO

1.7.1 INFORMACIÓN GENERAL

El acuífero Serranía del Burro, clave 0526, pertenece al Organismo de Cuenca VI Río Bravo. En el territorio completo que cubre al acuífero no rige ningún decreto de veda para la extracción de agua subterránea.

El uso principal del agua es de tipo doméstico. En el acuífero no se localiza distrito o unidad de riego alguna, ni tampoco se ha constituido hasta la fecha el Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS).

1.7.1.1 Localización

El acuífero Serranía del Burro se localiza en la porción norte del estado de Coahuila, entre las coordenadas geográficas 28° 54' y 29° 46' de latitud norte, y 102° 07' y 102° 53' de longitud oeste, cubriendo una superficie de 4,016 Km².

Limita al noroeste con los Estados Unidos de Norteamérica, al noreste con el acuífero Cerro Colorado-La Partida; al sur con los acuíferos Allende-Piedras Negras y Región Carbonífera y al suroeste con el acuífero Santa Fe del Pino, todos ellos pertenecientes al estado de Coahuila (Figura 1.1.19).

Geopolíticamente se localiza parcialmente en los municipios de Acuña, Múzquiz y Ocampo, todos ellos pertenecientes al estado de Chihuahua.

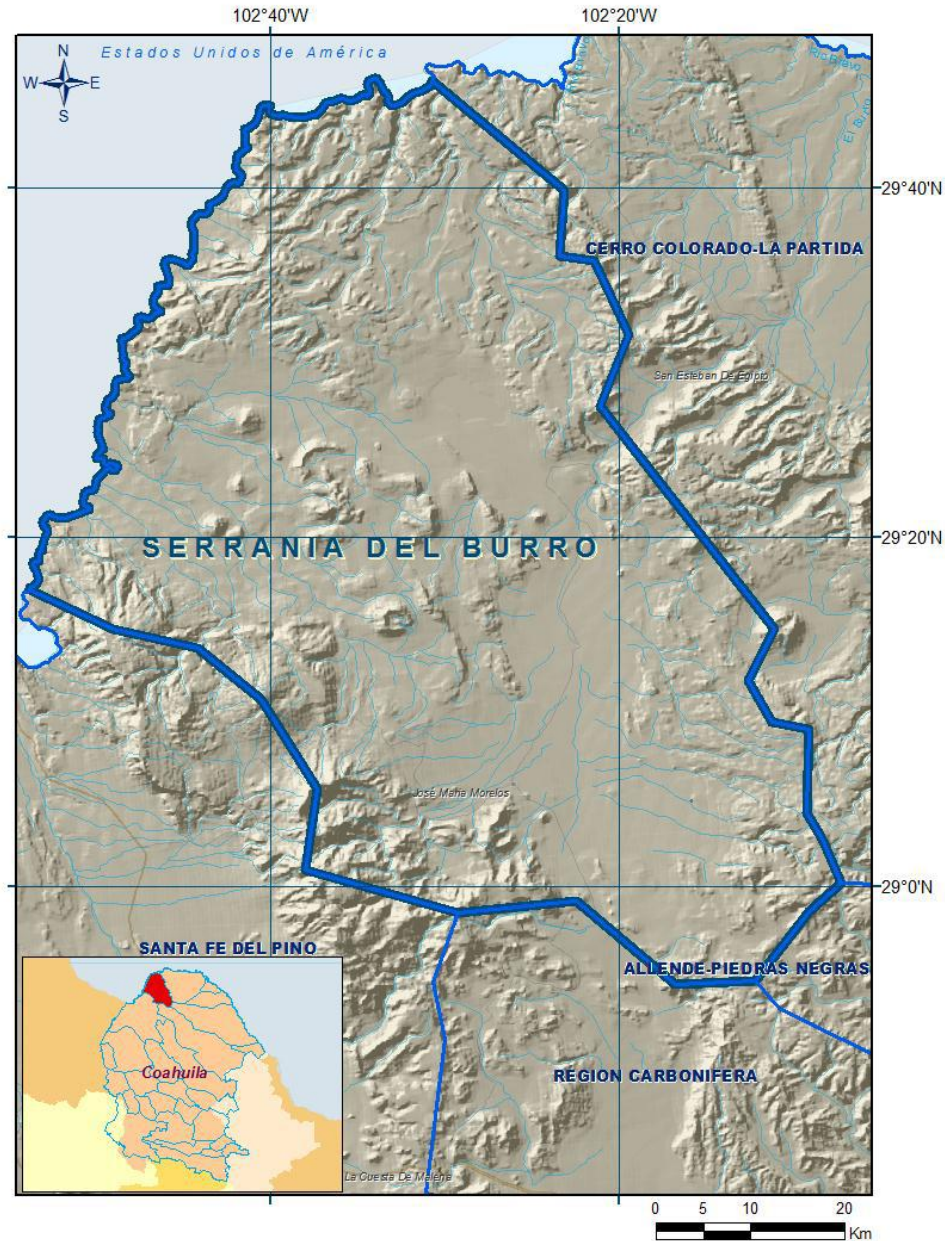


Figura 1.1.19. Localización del acuífero Serranía del Burro

1.7.2 FISIOGRAFÍA

1.7.2.1 Provincias fisiográficas

El área que cubre el acuífero se localiza en la Provincia Fisiográfica V Sierra Madre Oriental. Por otro lado, de acuerdo con la regionalización fisiográfica del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), la zona que corresponde al área del acuífero se localiza en las Provincias Serranía del Burro y Sierras y Llanuras Coahuilenses.

La Provincia Serranía del Burro ocupa 13,233 Km² del área total de la entidad e incluye parte de los municipios de Acuña, Guerrero, Múzquiz, Sabinas, Villa Unión y Zaragoza; así como secciones muy pequeñas de los de Juárez, Morelos y San Juan de Sabinas. Es una

ramificación de la Sierra Madre Oriental ubicada en la parte nor-central de Coahuila, con alturas de 500 a 2,500 msnm. Se distribuye de sur a nor-noroeste, atravesando mayormente el municipio de Zaragoza, pero sus partes sur y occidente se adentran en el municipio de Melchor Múzquiz y hacia el norte alcanza el municipio de Acuña. En ella nacen la mayoría de los ríos de agua constante de Coahuila y es considerada una región terrestre prioritaria de conservación ecológica.

La Provincia Sierras y Llanuras Coahuilenses ocupa 43,938 Km² del área total de la entidad y comprende los municipios de Abasolo, Frontera, Lamadrid, Nadadores, Sacramento y San Buenaventura; partes de los de Acuña, Candela, Castaños, Cuatro Ciénegas, Escobedo, Monclova, Múzquiz, Ocampo, Progreso y Ramos Arizpe; así como porciones muy pequeñas de los municipios de San Juan de Sabinas y Zaragoza. Está conformada por sierras de caliza plegadas, alcanzando altitudes de entre 1,000 a 2,000 msnm, la mayoría orientadas de noroeste a sureste, escarpadas y pequeñas. Sus ejes estructurales están bien definidos y, especialmente en el sur, se presentan anticlinales alargados con los lomos erosionados. Particularmente podemos encontrar a la Sierra Hermosa de Santa Rosa con 2,250 msnm.

1.7.3 CLIMA

El clima predominante para el acuífero Serranía del Burro es clasificado como clima muy seco en el centro, semicálido en el norte del acuífero y seco templado en las sierras del sureste y suroeste, con lluvias en verano que alcanzan entre el 5% y el 10.2 % de la precipitación anual.

Cuenta con valores de precipitación y temperatura media anual de 370 mm y 18 °C respectivamente. De igual manera, con respecto a la evaporación potencial, se obtuvo un valor de 2,140 mm anuales.

El régimen pluvial presenta, en términos generales, dos períodos de ocurrencia uno en verano de mayo a octubre, cuando se registran los valores más altos, y otro de lluvias invernales que abarca de noviembre a abril, con precipitaciones menos significativas, las cuales son provocadas principalmente por los frentes fríos que afectan a la región. En cuanto a la distribución anual de la temperatura media mínima y máxima, para el centro del área, en el periodo de lluvias, es de 18 y 30 °C y de 12 y 27 °C para el sur; mientras que en el periodo de estiaje es de 6 y 15 °C en el norte y 3 y 15 °C en el sur.

1.7.4 GEOLOGÍA

En la Figura 1.1.20 se puede observar la geología general de la región que comprende al acuífero. Está integrada por unidades marinas mesozoicas, las cuales constituyen una secuencia carbonatada de ambientes de plataforma, de edad Albiano al Cenomaniano, prácticamente continua y se interrumpe en el Turoniano cuando se deposita una secuencia de sedimentos calcáreo-arcillosos, los cuales prevalecen en el resto del Mesozoico. El Terciario está representado por la presencia de materiales ígneos que incluyen rocas hipabisales y derrames de materiales de composición principalmente riolítica. En el Cuaternario existen depósitos de relleno que cubren a cualquiera de las unidades depositadas previamente.

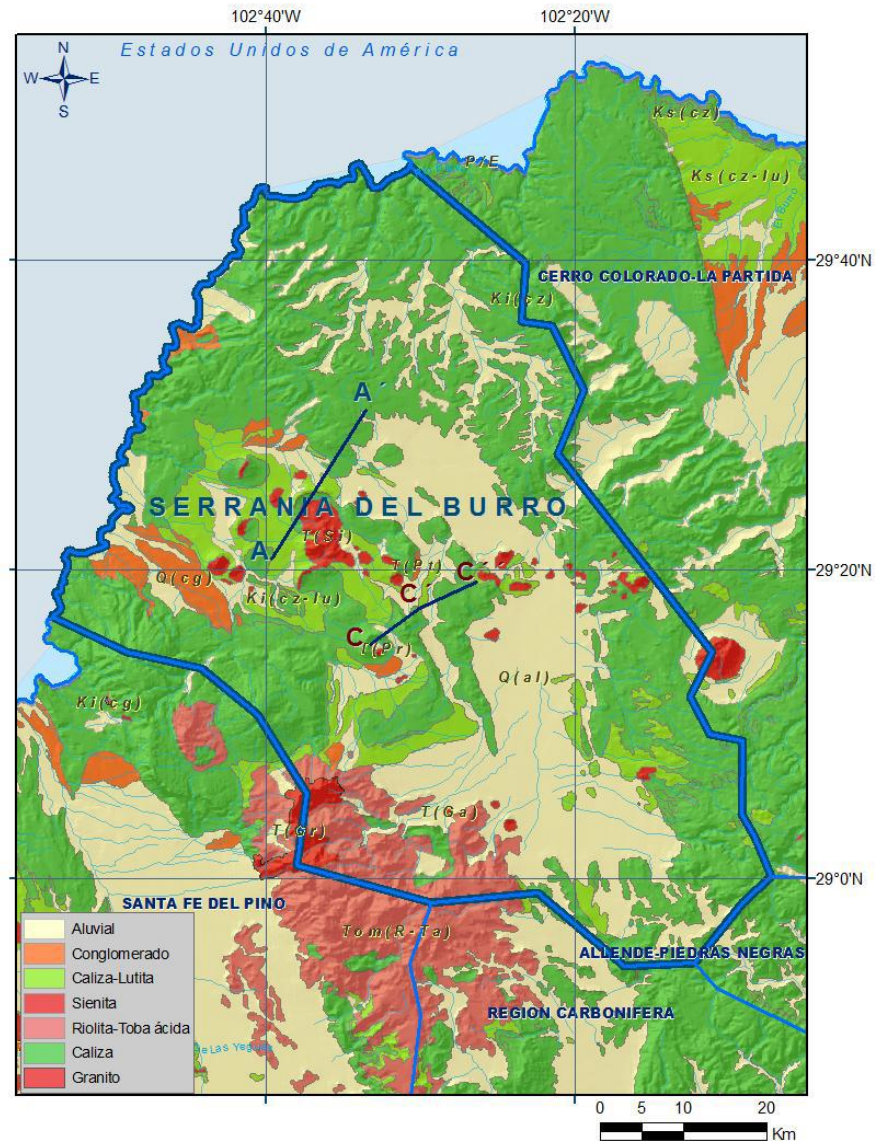


Figura 1.1.20. Geología general del acuífero Serranía del Burro

1.7.4.1 Geología del subsuelo

Se determinó la geología del subsuelo del acuífero Serranía del Burro por su relación con los acuíferos aledaños por lo que se encuentra en porción superior, por los sedimentos aluviales de granulometría variable, desde gravas hasta arcillas (Qhoal), así como los conglomerados polimícticos, que han sido transportados por los escurrimientos superficiales desde las regiones topográficamente más altas de la región y en la superficie cubierta por el acuífero, que aparentemente tienen un espesor reducido y baja permeabilidad, lo cual ha impedido la formación de acuíferos importantes. La porción inferior del acuífero está alojada en rocas sedimentarias, principalmente areniscas y lutitas, que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento.

A mayor profundidad, las calizas de las formaciones Glen Rose, Edwards y Salmon Peak y las lutitas de las formaciones West Nueces y McKnigh, constituyen horizontes acuíferos

que pueden presentar condiciones de semiconfinamiento o de confinamiento, debido a que su litología incluye alternancia con lutitas y limolitas. Este es un acuífero que aún no ha sido explorado. Las fronteras y barreras al flujo subterráneo, así como el basamento geohidrológico del acuífero están representadas por las mismas rocas sedimentarias al desaparecer su fracturamiento a profundidad, y por las secuencias de depósitos terrígenos finos que conforman las lutitas y limolitas.

Hacia la parte central del acuífero, las elevaciones topográficas corresponden a cuerpos ígneos volcánicos que se comportan como impermeables al flujo subterráneo. En la Figura 1.1.21 se muestra una sección geológica esquemática que muestra la disposición en el subsuelo de las diferentes unidades litológicas.

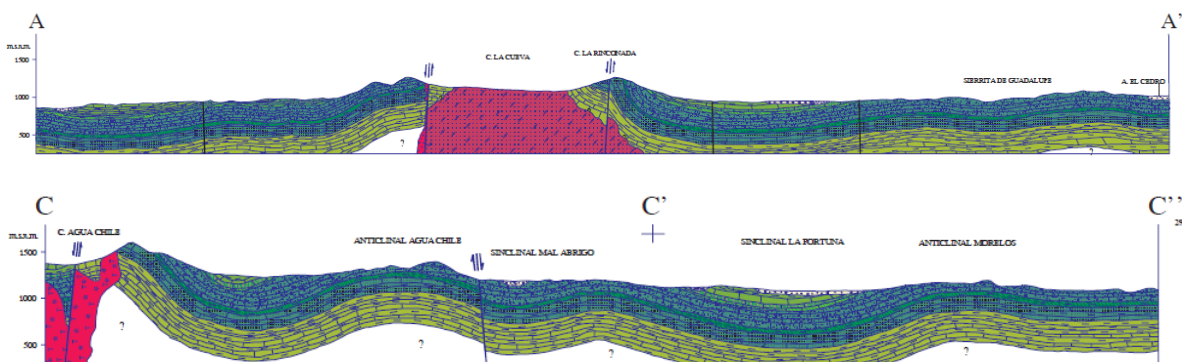


Figura 1.1.21. Secciones Geológicas Esquemáticas (Fuente: Carta Geológica-Minera E13-D38 “Cuatro Palmas”, Coahuila. Esc. 1:50,000 (SGM, 2005))

1.7.5 HIDROGEOLOGÍA

1.7.5.1 Tipo de acuífero

El acuífero se define de tipo libre heterogéneo y anisótropo, constituido en su porción superior, por sedimentos aluviales de granulometría variada y espesor muy reducido. Este es el acuífero que actualmente se explota en la zona de este valle y que es poco explotado, principalmente mediante manantiales que sólo satisfacen las necesidades de uso doméstico. Los paquetes de intercalaciones de calizas-lutitas que se encuentran a mayor profundidad representan una fuente potencial de agua subterránea que aún no ha sido explorada.

1.7.5.2 Profundidad y elevación del nivel estático

No se conoce la cantidad total de aprovechamientos existentes dentro de la zona, por lo que su extracción total se desconoce. Cabe señalar que no se cuenta con estudios realizados en esta zona, por lo que no existen valores que permitan elaborar planos de profundidad ni de configuraciones de elevación.

1.7.5.3 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

La concentración de sólidos totales disueltos (STD) presenta valores que varían de 296 a 706 ppm, que no sobrepasan el límite máximo permisible de 1,000 ppm establecido la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 de STD para el agua destinada al consumo humano.

1.8 CERRO COLORADO – LA PARTIDA

1.8.1 INFORMACIÓN GENERAL

El acuífero Cerro Colorado – La Partida, clave 0503. En general, cuenta con escasa información hidrogeológica que pueda definir la situación actual del acuífero para el manejo del recurso.

1.8.1.1 Localización

El acuífero Cerro Colorado-La Partida (Figura 1.1.22), se localiza en la porción norte del Estado de Coahuila y abarca un área de 7,131.3 Km²; comprende parcialmente a los municipios de Acuña y Zaragoza del Estado de Coahuila, y administrativamente corresponde a la Región Hidrológico-Administrativa Río Bravo.

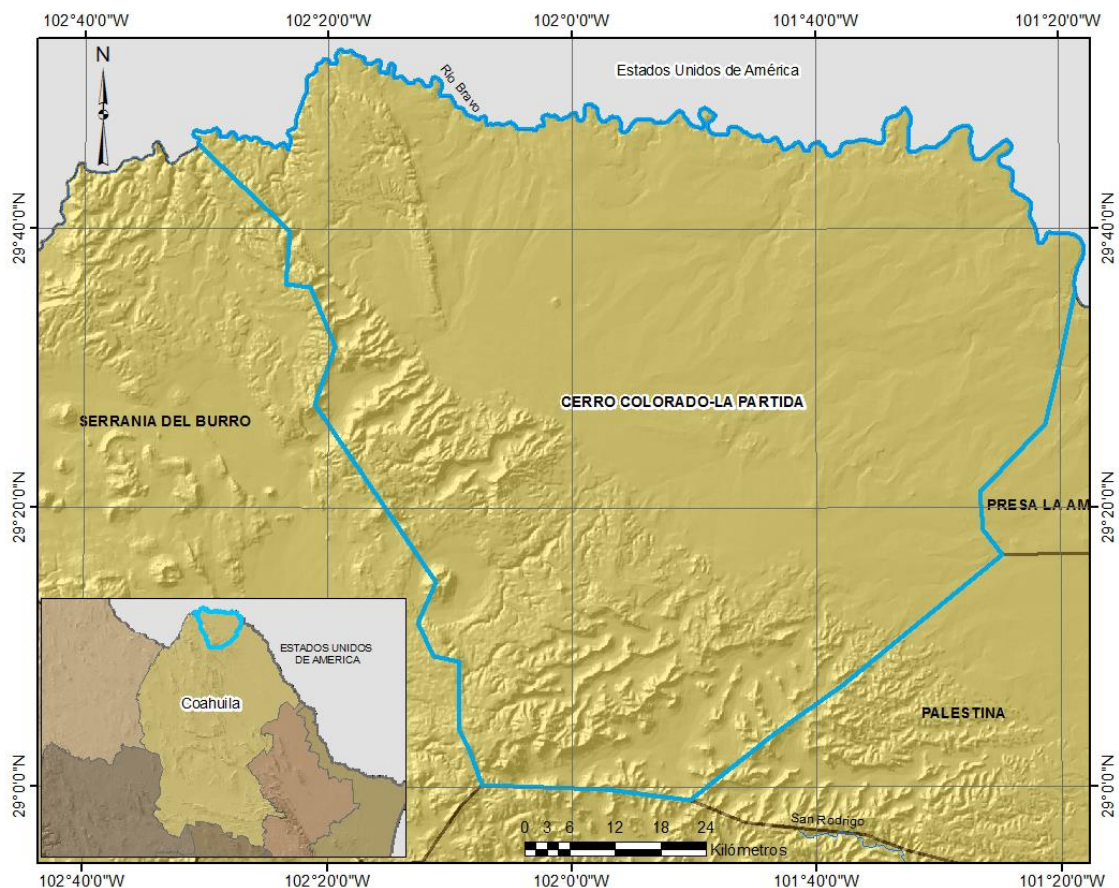


Figura 1.1.22. Localización del acuífero Cerro Colorado - La Partida

1.8.2 FISIOGRAFÍA

1.8.2.1 Provincias fisiográficas

De acuerdo al INEGI, el acuífero Cerro Colorado – La Partida se encuentra en la región fisiográfica Grandes Llanuras de Norteamérica, la cual se extiende desde México hasta Canadá, aunque la mayor parte de su área se localiza en Estados Unidos de América. En territorio mexicano, forma una pequeña subprovincia, al sur del río Bravo, llamada Llanuras de Coahuila y Nuevo León. Esta subprovincia tiene un relieve predominantemente plano con lomeríos alternados.

1.8.3 CLIMA

En la mayor parte de la superficie del acuífero Cerro Colorado-La Partida, el clima predominante es semicálido templado, especialmente en la parte sur y muy seco semicálido en el resto de la superficie del acuífero. El régimen pluvial presenta un período de ocurrencia de mayo a octubre.

Considerando la información de las estaciones climatológicas que tienen influencia en la superficie del acuífero Cerro Colorado-La Partida, utilizando el método de polígonos de Thiessen, se determinó que la temperatura media anual en la superficie del acuífero, es de 21 °C, la precipitación media anual de 481 mm y la evaporación potencial de 2,293 mm anuales.

1.8.4 GEOLOGÍA

En la parte sur del acuífero afloran rocas calizas que conforman la Sierra del Burro con pendientes abruptas (Figura 1.1.23). De la parte central hacia el norte, hasta el Río Bravo, afloran rocas calcáreo-arcillosas que forman lomeríos suaves.

En la porción noreste, afloran rocas calizas del Cretácico en forma de lomeríos de suave pendiente. En una franja central orientada del suroeste al noreste, se encuentran aluviones cubriendo valles y sobre la porción suroeste del acuífero, se encuentran las estribaciones de la Sierra del Burro formada por calizas del Cretácico. También existen afloramientos de rocas ígneas intrusivas, entre las que se incluye el Cerro Colorado, al surponiente de la zona de estudio.

El material aluvial se encuentra en el centro del acuífero. Existen algunos pequeños afloramientos de rocas ígneas intrusivas de composición intermedia, sienitas, que forman el Cerro Colorado.



Figura 1.1.23. Geología general del acuífero

1.8.4.1 Geología del subsuelo

El subsuelo está formado principalmente por rocas calizas, las cuales llegan a presentar conductos de disolución y fracturas que pueden permitir la infiltración y circulación de agua en el subsuelo. Sin embargo, su posición estructural en la parte poniente del Anticlinal del Burro, aunado a su posición topográfica relativamente alta, hace que el agua infiltrada en los horizontes permeables tienda a circular hacia el oriente de la Sierra del Burro, donde aflora en forma de manantiales como en las zonas de Palestina, Nava y Allende, fuera del área de este acuífero. Otra parte, es drenada de manera difusa por el Río Bravo en el límite norte del acuífero, sin existir un control sobre ello.

El nivel estático se llega a encontrar a profundidades del orden de 100 m y a rendir caudales de alrededor de 1 lps. En general, el acuífero es pobre, lo cual ha limitado el interés de explorarlo.

1.8.5 HIDROGEOLOGÍA

1.8.5.1 Parámetros hidráulicos

En el territorio que cubre el acuífero no se han realizado pruebas de bombeo para la determinación de las propiedades hidráulicas del acuífero.

1.8.5.2 Profundidad del nivel estático

La profundidad al nivel de saturación, o al nivel del agua subterránea medida desde la superficie del terreno en el acuífero Cerro Colorado-La Partida, es del orden de 100 a 140 m, lo cual la hace que su explotación sea poco atractiva. La profundidad total de los pozos va de 100 a 500 m.

1.8.5.3 Elevación del nivel estático

La elevación del nivel del agua subterránea con respecto al nivel del mar, indica que en las porciones topográficamente más elevadas se encuentran las mayores elevaciones del nivel de saturación, mientras que hacia el norte se presentan las menores elevaciones del nivel del agua subterránea. Por lo anterior, se infiere que la dirección del flujo subterráneo ocurre de sur a norte, hacia el Río Bravo.

Debido al escaso número de aprovechamientos existentes en el acuífero Cerro Colorado-La Partida, y al incipiente volumen de extracción, se puede afirmar que las variaciones en el nivel del agua subterránea no han sufrido alteraciones importantes en el transcurso del tiempo, por lo que el acuífero se encuentra en equilibrio y el cambio de almacenamiento tiende a ser nulo.

1.8.5.4 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

El agua subterránea del acuífero Cerro Colorado-La Partida, es del tipo cálcico bicarbonatada, con salinidad baja que va de concentración de 200 a 400 mg/L de sólidos totales disueltos no rebasan los límites máximos permisibles para consumo humano de acuerdo a la NOM-127-SSA1-1994.

1.9 PRESA LA AMISTAD

1.9.1 INFORMACIÓN GENERAL

El acuífero Presa La Amistad, clave se encuentra en la frontera entre el estado de Coahuila y el estado de Texas, E.U.A. Se cuenta con escasa información hidrogeológica que pueda definir la situación actual del acuífero para el manejo del recurso.

1.9.1.1 Localización

El acuífero Presa La Amistad se localiza en la porción Noreste del estado de Coahuila, y abarca un área de 1,071.6 Km² (Figura 1.1.24).

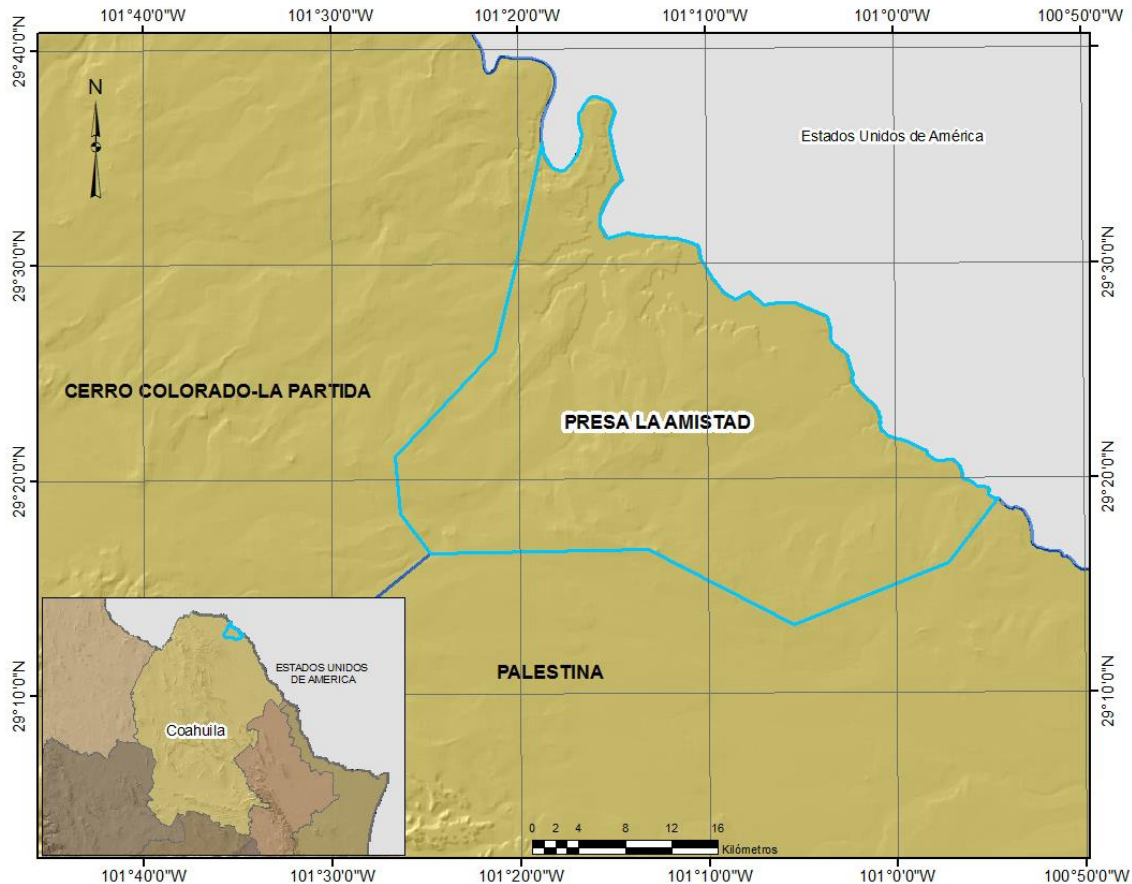


Figura 1.1.24. Localización del acuífero La Amistad

1.9.2 FISIOGRAFÍA

1.9.2.1 Provincias fisiográficas

De acuerdo al INEGI, el acuífero Presa La Amistad se encuentra en la región fisiográfica Grandes Llanuras de Norteamérica, la cual se extiende desde México hasta Canadá, aunque la mayor parte de su área se localiza en Estados Unidos de América. En territorio mexicano, forma una pequeña subprovincia, al sur del río Bravo, llamada Llanuras de Coahuila y Nuevo León. Esta subprovincia tiene un relieve predominantemente plano con lomeríos alternados.

1.9.3 CLIMA

En la región el clima es principalmente seco semicálido, y se registra una precipitación media anual de 493 mm.

1.9.4 GEOLOGÍA

La superficie del acuífero está constituida casi en su totalidad por rocas de origen sedimentario, calizas y calizas con alternancia de horizontes arcillosos.

Los suelos aluviales son depósitos más recientes, ellos cubren la mayor parte de los llanos del acuífero.

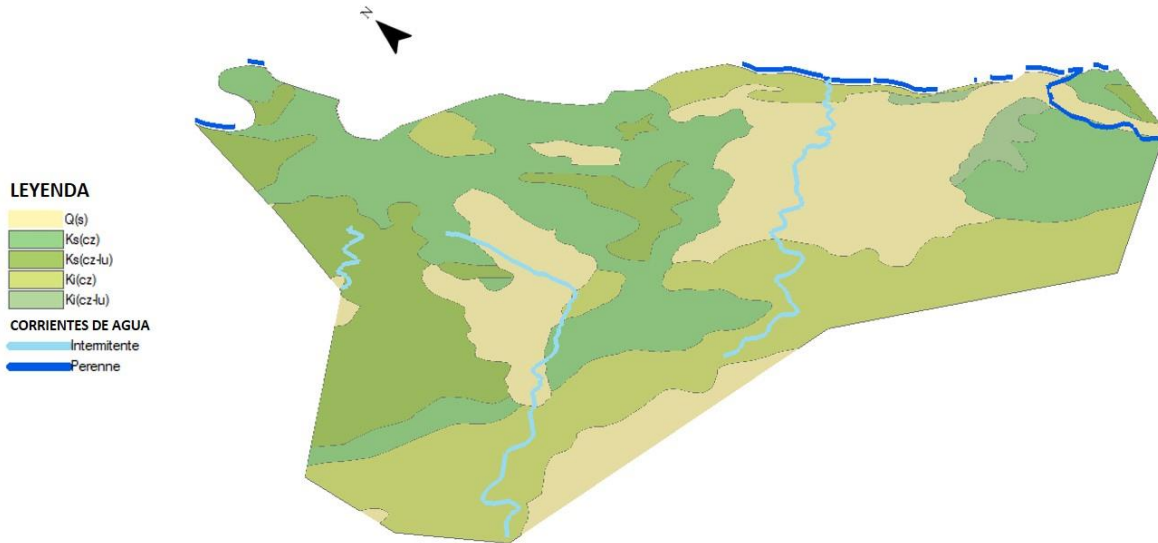


Figura 1.1.25. Geología general del acuífero

1.9.5 HIDROGEOLOGÍA

1.9.5.1 Tipo de acuífero

1.9.5.2 Parámetros hidráulicos

En el territorio que cubre el acuífero no se han realizado pruebas de bombeo para la determinación de las propiedades hidráulicas del acuífero.

1.9.5.3 Profundidad y Elevación del nivel estático

No se cuenta con información piezométrica histórica que permita elaborar las configuraciones de profundidad, elevación y evolución del nivel estático. Las escasas mediciones piezométricas recabadas de acuerdo a los informes de CONAGUA se encuentran dispersas en el espacio y no cubren en su totalidad la extensión superficial del acuífero.

1.10 PALESTINA

1.10.1 INFORMACIÓN GENERAL

El acuífero Palestina, clave 0513, es uno de los acuíferos fronterizos con poca a casi nula información de su situación actual, la geología y el tipo de acuífero se ha determinado por su similitud con los acuíferos adyacentes. Al ser uno de los acuíferos cercanos a la frontera el conocimiento de su información hidrogeológica es esencial para mantener una correcta gestión de los recursos.

1.10.1.1 Localización

Se localiza en la porción noreste del Estado de Coahuila de Zaragoza, abarca una superficie de 3,500.3 Km²; comprende parcialmente a los municipios de Zaragoza, Jiménez y Acuña del Estado de Coahuila de Zaragoza, y administrativamente corresponde a la Región Hidrológica Administrativa Río Bravo (Figura 1.1.25).

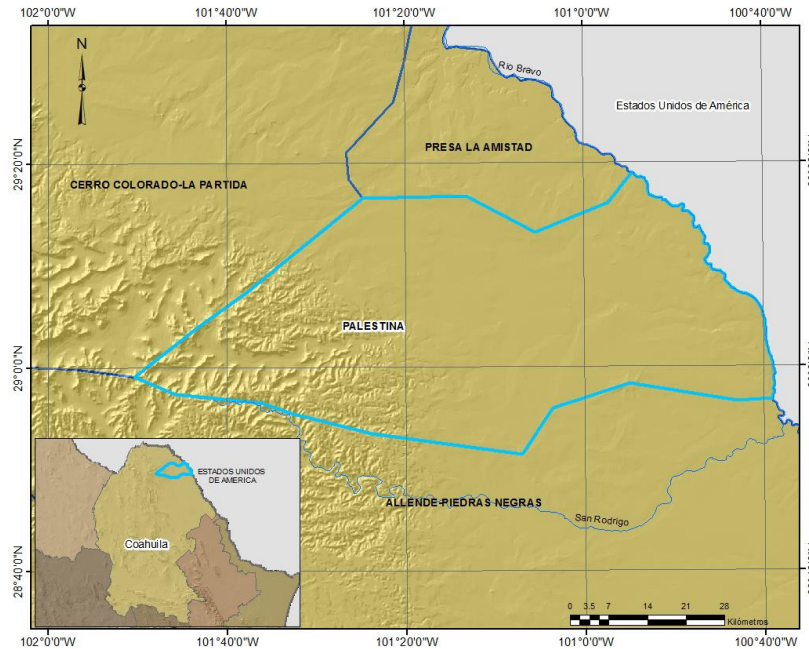


Figura 1.1.26. Localización del acuífero Palestina

1.10.2 FISIOGRAFÍA

1.10.2.1 Provincias fisiográficas

De acuerdo al INEGI, el acuífero Palestina se encuentra en la región fisiográfica Grandes Llanuras de Norteamérica, la cual se extiende desde México hasta Canadá, aunque la mayor parte de su área se localiza en Estados Unidos de América. En territorio mexicano, forma una pequeña subprovincia, al sur del río Bravo, llamada Llanuras de Coahuila y Nuevo León. Esta subprovincia tiene un relieve predominantemente plano con lomeríos alternados.

1.10.3 CLIMA

En la mayor parte de la superficie del acuífero Palestina, el clima predominante es seco semicálido y semiseco semicálido. El régimen pluvial presenta un período de ocurrencia de mayo a octubre.

El análisis climatológico, se efectuó con la información de las estaciones climatológicas Palestina, Presa D. Cabeceras, Presa San Miguel, Presa Centenario y Estación Acuña, con un período de información del año 1949 al 2011. Utilizando el método de polígonos de Thiessen, se determinó que la temperatura media anual en la superficie del acuífero es de 20 °C, la precipitación media anual de 531 mm y la evaporación potencial de 2,293 mm anuales.

1.10.4 GEOLOGÍA

En la Figura 1.1.27 se muestra la geología general del acuífero Palestina. En la superficie afloran rocas calcáreas del Cretácico que conforman la parte noreste de la Sierra del Burro. De la zona de estudio hacia el sur, existió desde principios del Cretácico, una cuenca oceánica denominada Laguna de Maverick, sobre la cual se depositaron sedimentos calcáreos marinos. Hacia el centro de la Laguna de Maverick, se depositaron calizas de mares profundos, mientras que hacia los bordes de dicha laguna existió un cambio en el ambiente de depósito, dando lugar al depósito de calizas arrecifales de lo que hoy se conoce como complejo arrecifal del Burro. La Sierra del Burro corresponde a un anticlinal de forma cómica, de gran extensión, donde hacia su centro afloran rocas calizas de mar abierto, circundadas por calizas arrecifales.

Al norte afloran rocas calcáreo-arcillosas del Cretácico Superior que conforman lomeríos suaves. En la porción poniente y sur-poniente, afloran rocas calizas del Cretácico Inferior disectados por un gran número de arroyos, que constituyen parte del macizo montañoso de la Sierra del Burro. Las rocas calcáreas del Cretácico que constituyen la mayor parte de la zona de estudio, se encuentran prácticamente horizontales.

En la parte poniente existen pequeños afloramientos de rocas ígneas intrusivas de composición intermedia del Terciario, que forman parte de un cinturón con orientación oeste-este.

En el centro del acuífero, y en su porción oriental se encuentran materiales granulares aluviales del Cuaternario, que rellenan el valle y se encuentran a lo largo de los arroyos que surcan el sureste con una dirección suroeste-noreste, producto del intemperismo y erosión de las partes topográficamente altas, que corresponden principalmente a arenas, gravas y cantos rodados de calizas.

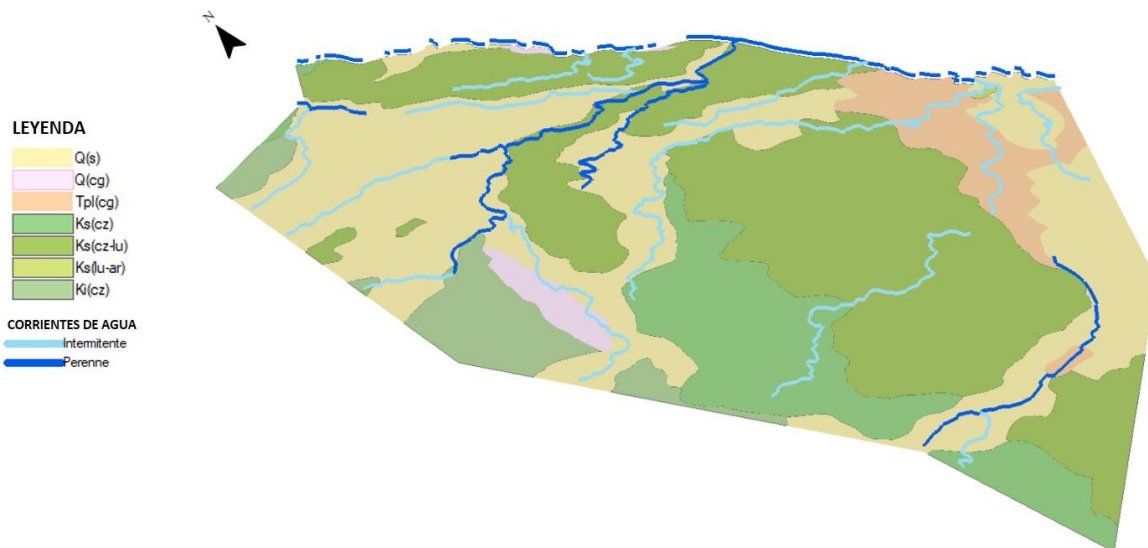


Figura 1.1.27. Geología general del acuífero Palestina

1.10.4.1 Geología del subsuelo

En el acuífero Palestina, el subsuelo está formado principalmente por rocas calizas que predominan aflorando al poniente del acuífero donde forman parte de la Sierra del Burro.

Estas rocas llegan a presentar conductos de disolución y fracturas que permiten la infiltración y circulación de agua en el subsuelo, dando origen a un acuífero de alta permeabilidad. El agua subterránea circula del poniente al oriente y aflora principalmente en el manantial Cabeceras. Otra parte del agua subterránea circula para descargar al Río Bravo. Las lutitas junto con los aluviones presentan menor permeabilidad y dan origen a un acuífero de rendimiento reducido.

1.10.5 HIDROGEOLOGÍA

1.10.5.1 Parámetros hidráulicos

En el territorio que cubre el acuífero no se han realizado pruebas de bombeo para la determinación de las propiedades hidráulicas del acuífero.

1.10.5.2 Profundidad del nivel estático

En el año 2013, la profundidad al nivel de saturación, medida desde la superficie del terreno, variaba de 10 a 70 m; en la mayor parte del acuífero la profundidad del agua subterránea se encuentra a menos de 20 m, encontrándose los niveles más someros en el extremo oriente del mismo, hacia el Río Bravo; al sur de Ciudad Acuña el nivel piezométrico se encuentra entre 10 y 30 m de profundidad, hacia el poniente se profundiza de 40 a 70 m, debido a que el terreno se eleva; los niveles más profundos se encuentran hacia la sierra al oeste, donde alcanzan profundidades de 70 m.

1.10.5.3 Elevación del nivel estático

La cota de elevación del nivel de saturación del agua subterránea, referido al nivel del mar, en el año 2013, fue de 420 msnm, en el oeste del valle, a la altura de Santa Eulalia y la elevación del nivel del agua subterránea desciende paulatinamente hacia el oriente, siguiendo la topografía, hasta alcanzar la cota de 250 msnm en las proximidades del Río Bravo. La dirección del flujo subterráneo ocurre de poniente a oriente, es decir, del pie de la Sierra del Burro hacia el Río Bravo, donde descarga.

La evolución del nivel del agua subterránea en el período de tiempo comprendido del año 2006 al 2013, muestra recuperación del nivel, debido a las lluvias extraordinarias que han ocurrido especialmente en los últimos dos años en la parte norte del Estado de Coahuila de Zaragoza.

1.10.5.4 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

El agua subterránea es del tipo cálcico bicarbonatada, con salinidad baja que va de concentraciones de 300 a 600 mg/L de sólidos totales disueltos, aunque existen sitios aislados que presentan hasta 2,300 mg/L, en los que el agua subterránea es del tipo sulfatada, debido a la disolución de yesos y anhidritas. Salvo dichas excepciones, la salinidad y las concentraciones de los distintos iones, no rebasan los límites máximos permisibles para consumo humano de acuerdo a la normatividad mexicana.

1.11 ALLENDE – PIEDRAS NEGRAS

1.11.1 INFORMACIÓN GENERAL

El acuífero Allende-Piedras Negras, clave 0501, pertenece al Organismo de Cuenca Río Bravo y es jurisdicción territorial de la Dirección Local Coahuila. En su territorio no existe actualmente veda de agua subterránea.

1.11.1.1 Localización

El acuífero Allende-Piedras Negras, se localiza en la porción nororiental del Estado de Coahuila, abarcando una superficie de 12,961 Km², entre las coordenadas 27°45' – 29°00' de latitud norte, y 100°00' – 102°15' de longitud oeste. Tiene una altitud promedio de 800 msnm en su parte poniente que corresponde a la Sierra del Burro, mientras que en la planicie va de una altitud de 2,000 msnm, en la zona cercana al cauce del Río Bravo, a 390 msnm a la altura del poblado de Allende.

Colinda dentro del estado de Coahuila, con los acuíferos Región Carbonífera al sur, Palestina y Cerro Colorado-La Partida al norte, al oeste con Serranía del Burro y Región Carbonífera; al este su límite natural es al Río Bravo (Figura 1.1.28).

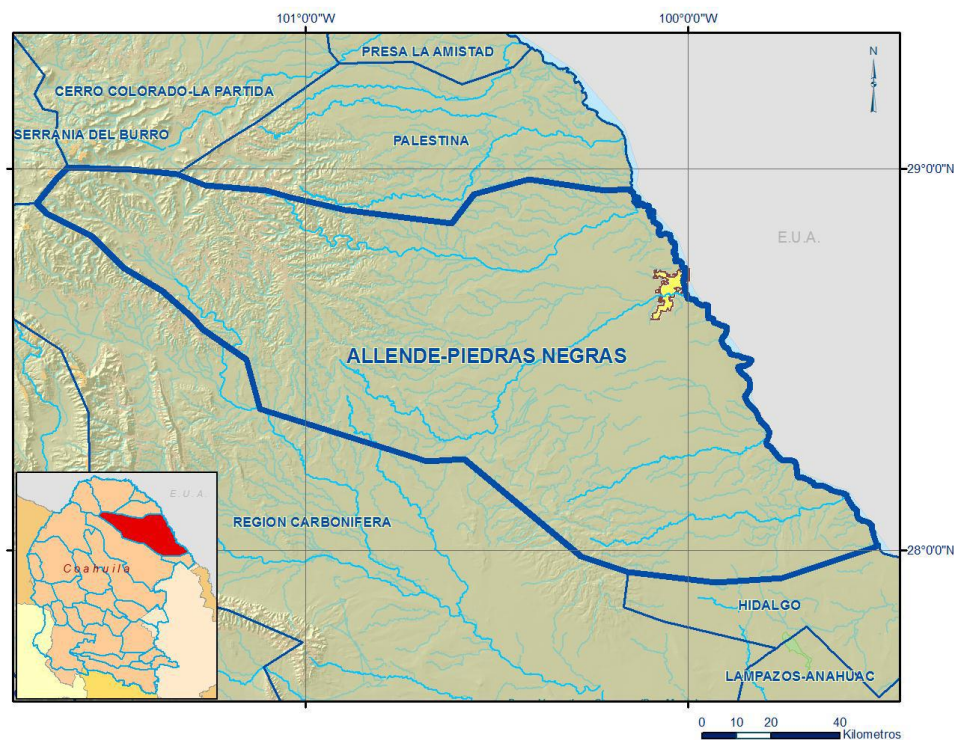


Figura 1.1.28. Localización del acuífero Allende - Piedras Negras

1.11.2 FISIOGRAFÍA

1.11.2.1 Provincias fisiográficas

De acuerdo al INEGI, el acuífero Presa La Amistad se encuentra dividida en la región fisiográfica Grandes Llanuras de Norteamérica y Sierra Madre Oriental, la primera se

extiende desde México hasta Canadá, aunque la mayor parte de su área se localiza en Estados Unidos de América. En territorio mexicano, forma una pequeña subprovincia, al sur del río Bravo, llamada Llanuras de Coahuila y Nuevo León. Esta subprovincia tiene un relieve predominantemente plano con lomeríos alternados.

La provincia de la Sierra Madre Oriental está situada en el este del país, tiene una dirección noroeste – sureste. El tipo de roca más común en su superficie es de tipo sedimentaria, las cuales fueron levantadas y plegadas siguiendo un eje con dirección aproximada sur-norte.

1.11.3 CLIMA

El estado de Coahuila está situado, en su mayor parte, en el oriente de una gran área climática denominada como Desierto de Chihuahua, o Desierto del Norte de México. Esta se caracteriza por poseer climas continentales, secos y muy secos, que van desde los semicálidos, predominantes en los bolsones coahuilenses, hasta los templados de las partes más altas y las más septentrionales.

En la zona comprendida por los municipios de Allende, Guerrero, Morelos, Nava, Piedras Negras, Villa Unión y Zaragoza en donde se localiza el área de estudio, la temperatura media anual es de 20 a 22 °C, con excepción del extremo noreste, en particular en las laderas de la Serranía del Burro, en donde disminuye a 18 °C.

La precipitación pluvial en la zona de Allende-Piedras Negras tiene un promedio de 500 mm. Hacia la Sierra del Burro, la precipitación alcanza hasta 626 mm. De acuerdo con los datos de precipitación anual registrada en las estaciones Allende, Zaragoza y Piedras Negras se observó que hacia los años 2001, 2002 y 2006, se presentaron lluvias escasas, del orden de casi la mitad de la media anual; mientras que para el resto de los años de la presente década, las precipitaciones han sido abundantes, por arriba de la media anual.

La evaporación potencial promedio anual varía de 1,746 mm, registrada en la estación Allende a 1,816 mm en la estación Observatorio de Piedras Negras.

1.11.4 GEOLOGÍA

La columna geológica de la zona, está constituida por rocas sedimentarias marinas del Cretácico que afloran en la Sierra del Burro y que hacia la planicie de Allende-Piedras Negras se encuentran cubiertas por un conglomerado del Terciario y Cuaternario. Su distribución general se muestra en la Figura 1.1.29.

A pesar de lo tendido de los plegamientos de la serranía El Burro y lomerío Peyotes, sus buzamientos propician la existencia de zonas fracturadas.

Cabe mencionar que en el flanco occidental del Anticlinal El Burro, existe una falla importante que anuncia un desplazamiento vertical o salto de alrededor de 1,250 m con el bloque caído hacia el este. Se trata de una falla normal originada como consecuencia del relajamiento de la deformación Laramide. Esta falla se conoce con el nombre de El Cedral y tiene importancia geohidrológica, ya que aparentemente constituye una barrera al flujo

subterráneo y forma el límite sur del acuífero. En anticlinorio El Burro-Peyotes ha estado expuesto desde el Mioceno y gran parte del rejuvenecimiento de cavernosidad para las calizas del subsuelo se debe al efecto propicio de las aguas meteóricas durante este lapso de tiempo bajo condiciones sub-aeriales.

Por otra parte, el Río Bravo está controlado por un sistema de fallas y fracturas orientadas Norte-Sur y Este-Oeste e indica que en el subsuelo existe un sistema de fallas escalonadas de bajo desplazamiento, de hasta 30 m, orientadas principalmente en dirección NW-SE.

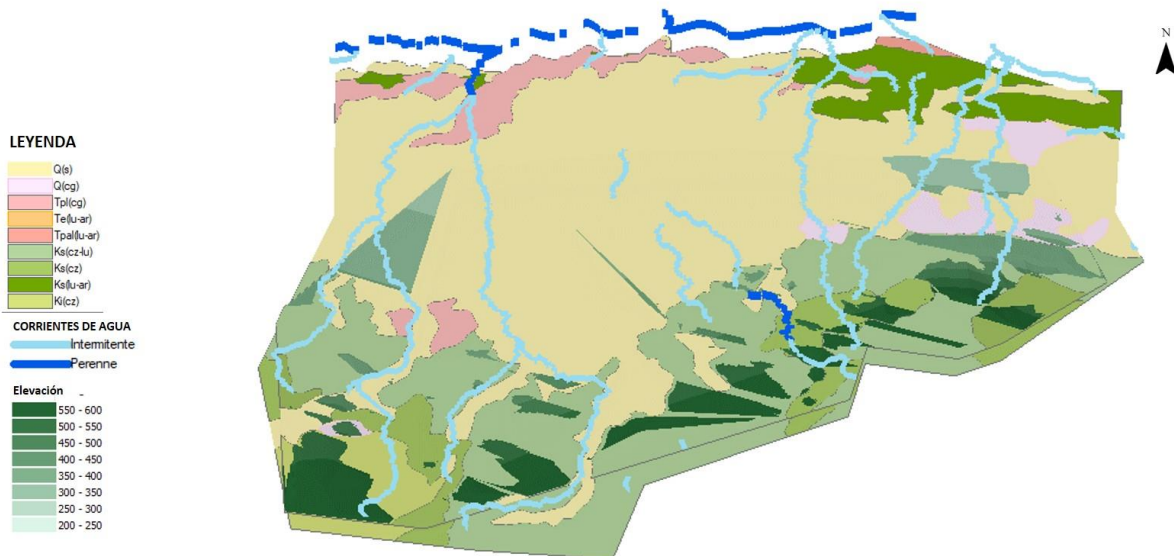


Figura 1.1.29. Geología general del acuífero Allende-Piedras Negras

1.11.4.1 Geología del subsuelo

Para ilustrar de manera simplificada la distribución de las rocas en el subsuelo, en la Figura 1.1.30 se muestra un croquis de una sección geológica regional donde se observa el levantamiento anticlinal que forma la Sierra del Burro, el cual presenta flancos de suave pendiente.

La sierra se puede describir como la mitad de una “gran cebolla”, cuyas capas en la parte superior de la sierra, han sido cortadas por erosión. El núcleo corresponde a las rocas permeables del Cretácico Inferior, mientras que la porción externa forma una banda anular. En los cañones de la sierra y en el plano geológico, es notable el afloramiento de las capas inferiores o de la parte baja del Cretácico Inferior, algunas de ellas por su poco espesor y posición casi horizontal, semejan curvas de nivel.

Afloran rocas calizas del Cretácico Inferior correspondientes a las unidades McKnight y Salmon Peak, que forman el flanco oriente de la Sierra del Burro.

Rodeando a las formaciones mencionadas, se encuentran unidades del Cretácico Superior conocidas como Del Río, Buda, Eagle Ford y Austin. Estas formaciones dan origen a

lomeríos y elevaciones topográficas menores, mientras que entre El Remolino, El Bambilete, Las Albercas y su prolongación al sur hasta el Río Escondido, se encuentra un valle alargado provocado por la erosión de la Formación Del Río, la cual está constituida por lutitas calcáreas que son más fáciles de erosionar que las calizas. Esto da origen a una morfología que permite identificar claramente el límite entre las rocas del Cretácico Inferior (hacia el poniente de El Remolino y Las Albercas), de las rocas del Cretácico Superior (al oriente del valle entre los mismos poblados mencionados).

Hacia la parte central y oriente de la zona, donde se ubican los poblados de Zaragoza, Morelos, Nava y Allende, se extiende una planicie que se continúa hasta el Río Bravo, la cual está formada por materiales granulares del Terciario (Conglomerado Sabinas-Reynosa), cubiertos por una capa de aluvión Cuaternario. Destaca el Conglomerado Sabinas-Reynosa, el cual constituye un importante acuífero que es explotado para uso agrícola e industrial.

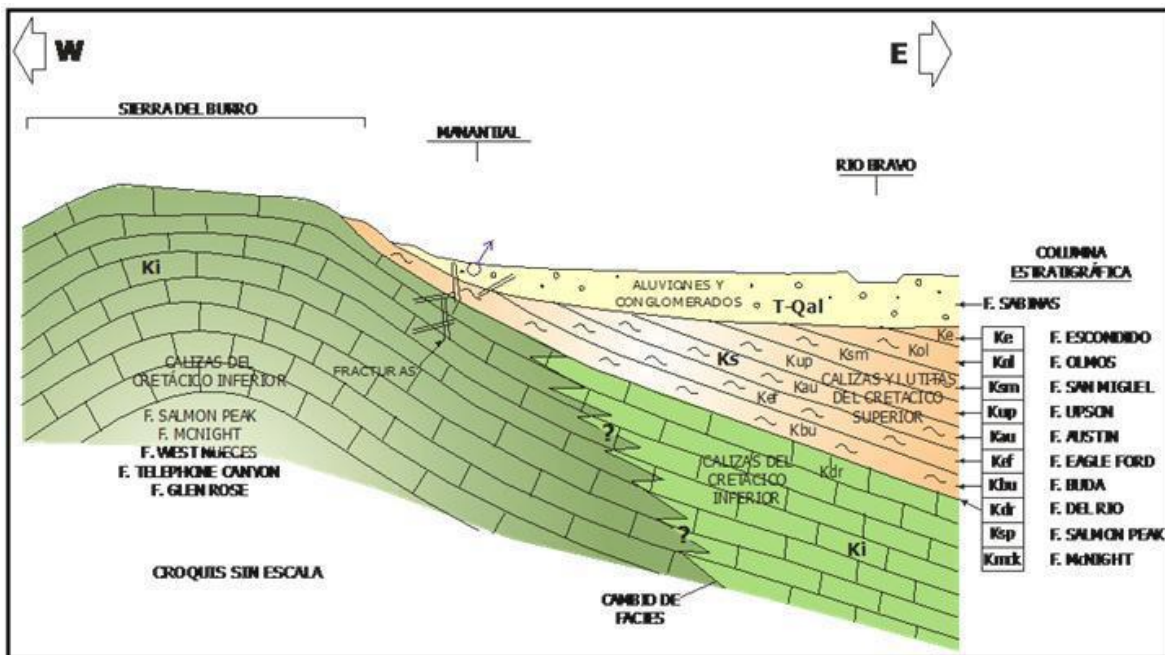


Figura 1.1.30. Geología del subsuelo del acuífero Allende-Piedras Negras

1.11.5 HIDROGEOLOGÍA

1.11.5.1 Tipo de acuífero

El acuífero en las calizas del Cretácico Inferior de la Sierra del Burro, se recarga en las partes altas de la sierra y el flujo subterráneo circula hacia el sureste. El agua se encuentra confinada y con una presión hidrostática que le imprime la posición del nivel piezométrico en la zona de recarga. Esta agua sale a través de fracturas que forman los manantiales que existen en la zona ubicada entre Zaragoza, Morelos y Allende. Estos manantiales constituyen los “vertedores naturales de demasías” del acuífero calizo de la Sierra del Burro. Por otra parte, varios pozos perforados al pie de la Sierra del Burro, son brotantes o artesianos. El acuífero funciona como confinado y semiconfinado en algunas partes de su extensión.

1.11.5.2 Parámetros hidráulicos

Los valores de transmisividad y coeficiente de almacenamiento, han sido obtenidos a través de pruebas de bombeo realizadas en estudios previos. Existen valores de transmisividad muy variados.

En los pozos ubicados en las rocas calizas, la transmisividad es alta, de 20 a $40 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$. Hacia la planicie de Allende-Piedras Negras, la Formación Sabinas-Reynosa presenta conglomerados con cavidades de gran tamaño que provocan alta transmisividad, donde se obtuvieron valores de más de $40 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$. Existen otros aprovechamientos donde la transmisividad es menor, del orden de 0.1 a $5.0 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.

Los valores de coeficiente de almacenamiento reportados en trabajos previos, es de 10^{-2} y 10^{-3} en la zona de Morelos; del orden de 10^{-4} en la mayor parte de la planicie de Allende-Piedras Negras.

1.11.5.3 Profundidad del nivel estático

La profundidad al nivel estático en marzo-mayo del 2008 presentó valores que variaron entre 7 y 20 m, al norte de la carretera Allende-Piedras Negras. Valores de 5 a 7 m se registran al noreste de los tajos, debido a la recarga artificial por el retorno del agua de “achique” de las minas. Al sureste de Nava se presentan valores que oscilan entre 3 y 5 m debido tanto a la baja topografía del terreno, como a la infiltración de los retornos de riego en la zona agrícola; en tanto que al poniente de Morelos varían entre 10 y 30 m debido a que se eleva la superficie del terreno (Figura 1.1.31).

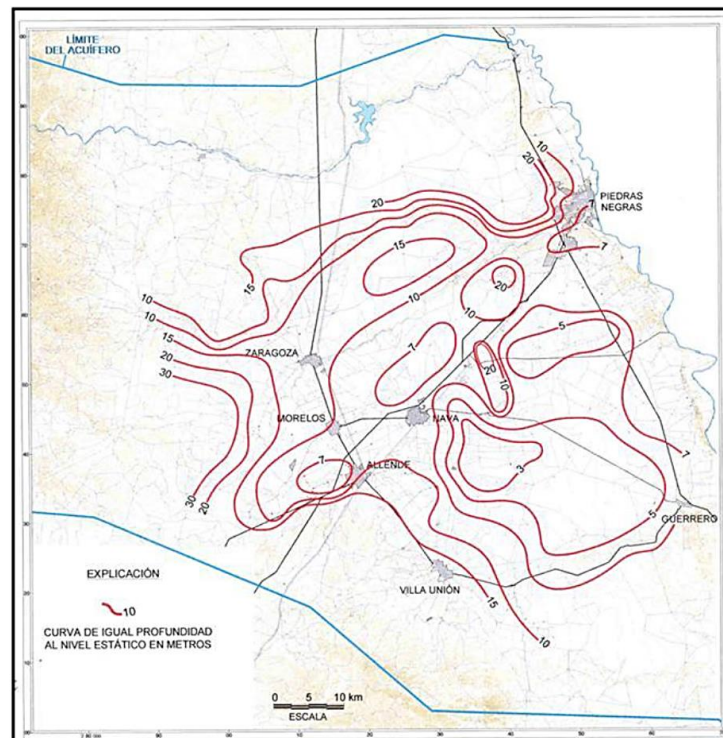


Figura 1.1.31. Profundidad del nivel estático

1.11.5.4 Elevación del nivel estático

De acuerdo a la información proporcionada en el informe de CONAGUA (2009) la configuración de la elevación del nivel estático en marzo-mayo del 2008 se muestra en la figura 1.12.5. El flujo subterráneo se establece de las estribaciones de la Sierra del Burro (Zaragoza, Morelos, Allende y Villa Unión), hacia el oriente, hasta el Río Bravo, entre Piedras Negras y Guerrero.

Al poniente de la zona configurada se identifica la curva de 440 msnm, a partir de la cual los valores descienden en forma gradual en dirección este-noreste hasta los 360 msnm, a la altura de Morelos. En la zona de los tajos de MICARE, se presenta la curva cerrada de 280 msnm, indicando un cono piezométrico que se forma por el “achique” del agua de los tajos para la explotación del carbón. El flujo continúa hacia el Río Bravo, donde alcanza la cota 220 msnm, descargado hacia él mediante salidas por flujo subterráneo.

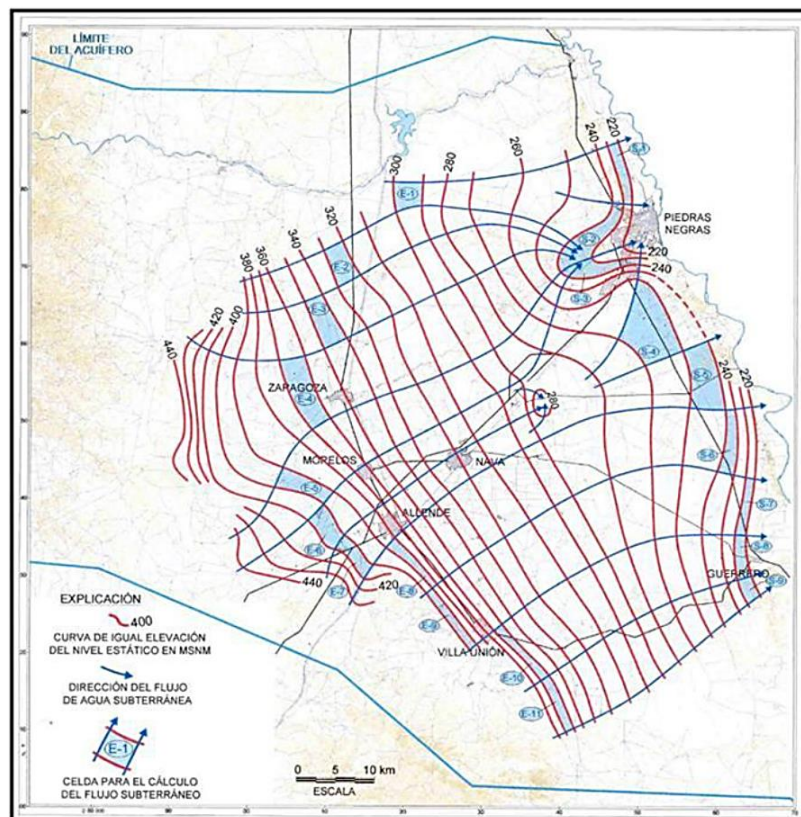


Figura 1.1.32. Elevación del nivel estático

1.11.5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

Se reporta que el agua extraída se clasifica como de salinidad media (C2), alta (C3) o muy alta (C4) y contenido bajo de sodio (S1) a muy alto (S4). De las 55 muestras analizadas en el 2008, 20 se clasifican como C2-S1, 32 como C3-S1, 2 como C4-S1 y una muestra C4-S4.

Existe una relación entre la salinidad del agua y su composición química. Al poniente, el agua subterránea está caracterizada por presentar menos de 400 ppm de sólidos totales disueltos, bajas concentraciones de sulfatos, generalmente menores de 32 ppm, y pertenecer a la familia cálcico–bicarbonatada.

El agua de la familia cálcico–bicarbonatada se encuentra en pozos y manantiales ubicados en esta porción del acuífero. Corresponde con el tipo de agua que ha tenido contacto con rocas calizas de las cuales disuelve los carbonatos y el calcio. Los carbonatos en el agua pasan a bicarbonatos que es una forma más estable del mencionado ión.

En contraste, los aprovechamientos ubicados hacia la porción centro-oriental del acuífero, se caracterizan por presentar agua con más de 1,000 ppm de sólidos totales disueltos. En el año 2003 se presentaron concentraciones altas de sulfatos, asociados a la familia cálcico–sulfatada. Estos valores altos son puntuales, como los presentados en las inmediaciones de Zaragoza y Morelos, y se asocian a la disolución de yesos y anhidritas de la Formación Mcknight, a través de fracturas y conductos de disolución.

1.12 HIDALGO

1.12.1 INFORMACIÓN GENERAL

El acuífero Hidalgo, clave 0514, es uno de los acuíferos fronterizos con poca a casi nula información de su situación actual, la geología y el tipo de acuífero se ha determinado por su similitud con los acuíferos adyacentes. Al ser uno de los acuíferos cercanos a la frontera el conocimiento de su información hidrogeológica es esencial para mantener una correcta gestión de los recursos.

1.12.1.1 Localización

El acuífero Hidalgo se localiza en la porción este del estado de Coahuila, y abarca un área de 1,656.4 Km² (figura 1.13.1).

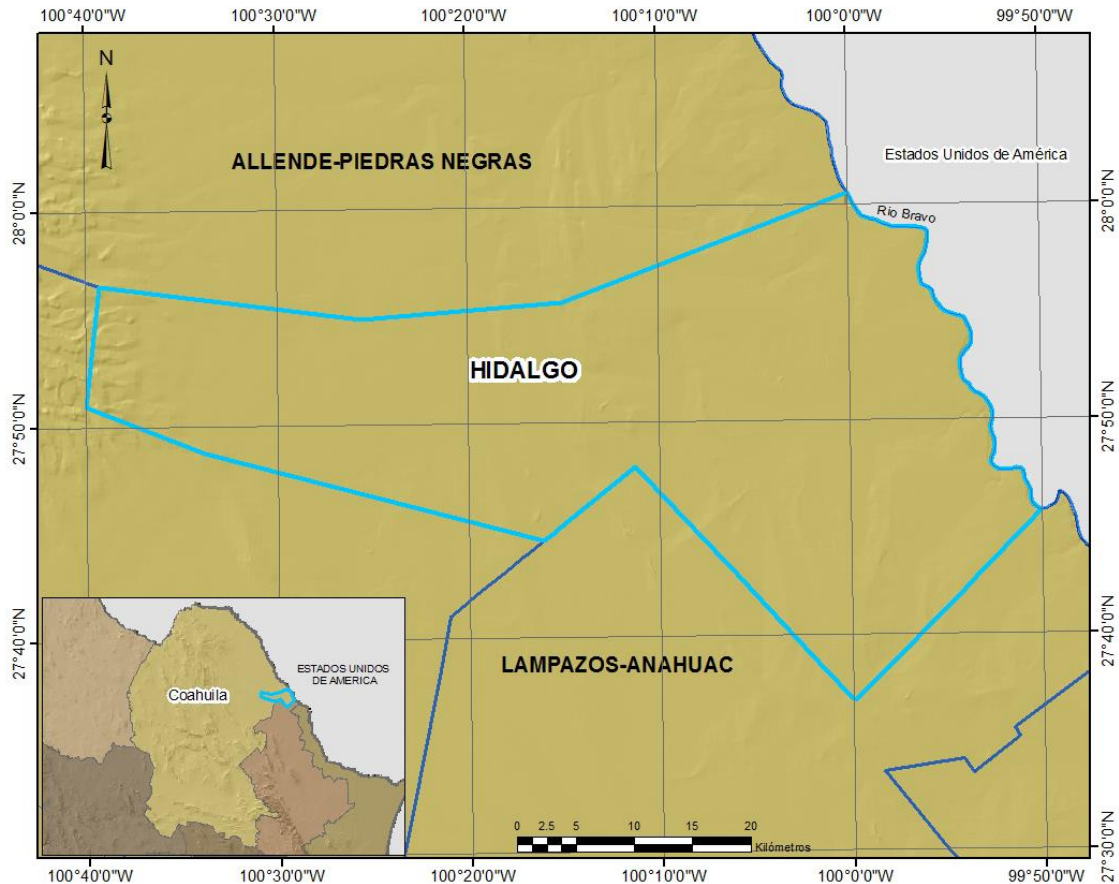


Figura 1.1.33. Localización del acuífero Hidalgo

1.12.2 FISIOGRAFÍA

1.12.2.1 Provincias fisiográficas

De acuerdo al INEGI, el acuífero Presa La Amistad se encuentra en la región fisiográfica Grandes Llanuras de Norteamérica, la cual se extiende desde México hasta Canadá, aunque la mayor parte de su área se localiza en Estados Unidos de América. En territorio mexicano, forma una pequeña subprovincia, al sur del río Bravo, llamada Llanuras de Coahuila y Nuevo León. Esta subprovincia tiene un relieve predominantemente plano con lomeríos alternados.

1.12.3 CLIMA

En la mayor parte de la superficie del acuífero Hidalgo, el clima predominantemente es seco a muy cálido. El régimen pluvial presenta un periodo de ocurrencia de mayo a octubre.

De acuerdo con el análisis de la información climatológica de las estaciones meteorológicas Hidalgo y Colombia, utilizando el método de polígonos de Thiessen, se determinó que la temperatura media anual en el acuífero Hidalgo, es de 22.6 °C, la precipitación media anual de 486 mm y la evaporación potencial de 1,800 mm anuales.

1.12.4 GEOLOGÍA

La litología del acuífero está compuesta en su gran mayoría por rocas sedimentarias; de la parte central hacia el este del acuífero se presentan rocas de tipo lutita-arenisca; en la parte oeste existen algunos pequeños afloramientos de calizas, caliza-lutitas y conglomerados; en las partes bajas se identifican depósitos de material aluvial (Figura 1.1.34).

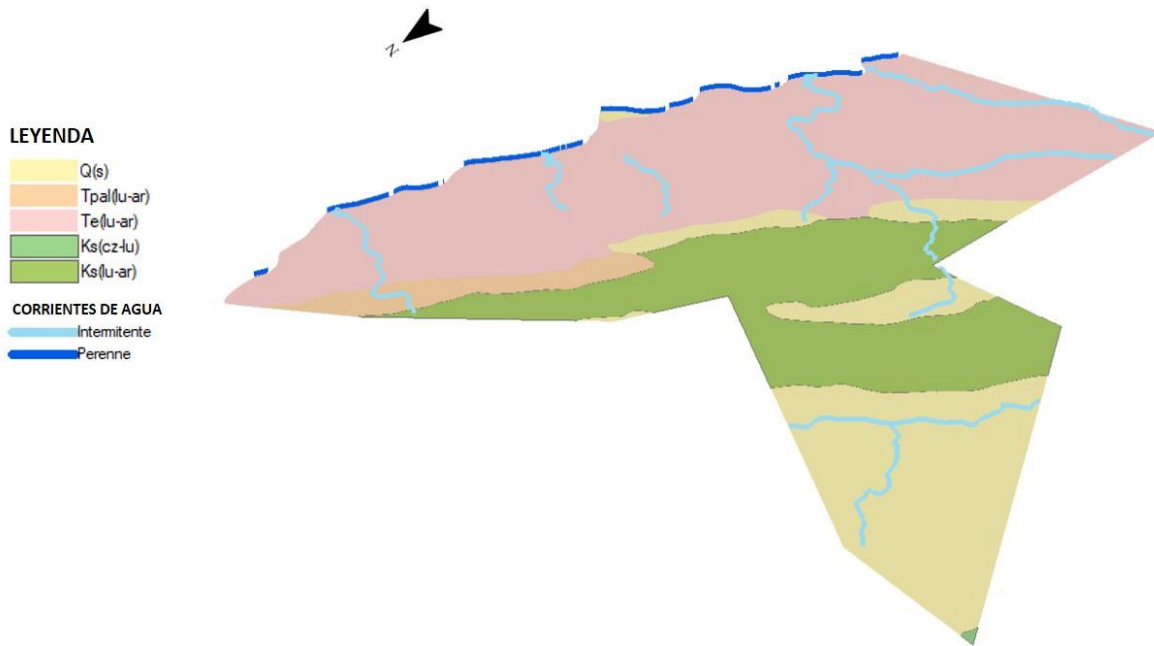


Figura 1.1.34. Geología general del acuífero

1.12.5 HIDROGEOLOGÍA

1.12.5.1 Profundidad del nivel estático

En el año 2013, la profundidad al nivel de saturación, medida desde la superficie del terreno, en el acuífero Hidalgo variaba de 10 a 60 m. El nivel estático se encuentra a alrededor de 25 m de profundidad en los alrededores del poblado de Villa Hidalgo. Al noroeste, a lo largo del Río Bravo, el nivel se registró entre 20 y 15 m, mientras que hacia el poniente se encuentran niveles muy variables entre 10 y 60 m de profundidad.

1.12.5.2 Elevación del nivel estático

La elevación del nivel estático respecto al nivel del mar, en una franja a lo largo del Río Bravo, se observa que existe un flujo subterráneo de poniente a oriente.

Debido a que la extracción de agua subterránea es incipiente, no se observan conos de abatimiento, ni evidencias de cambio de almacenamiento, por lo que se considera que éste es nulo.

1.12.5.3 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

El agua subterránea del acuífero Hidalgo, es del tipo sódico-bicarbonatada y sódico-clorurada, con salinidad alta con una concentración de sólidos totales disueltos de 2,000 a 8,000 mg/L de SDT, lo cual ha restringido su explotación, ya que dichas concentraciones rebasan los límites máximos permisibles de la NOM-127-SSA1-1994.

Sólo en una porción del acuífero, al noroeste de la estación meteorológica Villa Hidalgo, se encuentra agua subterránea con bajo contenido salino, con concentración de sólidos totales disueltos del orden de 1,000 mg/L.

Al sur de la estación meteorológica Colombia, se encuentran varios aprovechamientos cuya salinidad varía de 2,000 a 6,000 mg/L de SDT, debido a que las rocas presentan evaporitas de cloruro de sodio, las que son fácilmente disueltas por el agua que circula en el subsuelo.

1.13 LAMPAZOS – ANÁHUAC

1.13.1 INFORMACIÓN GENERAL

El acuífero Lampazos-Anáhuac, clave 1903, administrativamente corresponde a la Región Hidrológico-Administrativa Río Bravo. Los acuíferos colindantes del acuífero Lampazos-Anáhuac son Bajo Río Bravo, Lampazos-Villaldama, Sabinas-Parás, Monclova, Región Carbonífera e Hidalgo.

1.13.1.1 Localización

El acuífero Lampazos-Anáhuac (Figura 1.1.35), se ubica en la porción norte del Estado de Nuevo León, y tiene una extensión territorial de 7,461 Km², superficie comprendida de manera parcial por los municipio de Anáhuac que cubre el 60.45% de la superficie del acuífero, Lampazos de Naranjo que representa el 35.96% de la superficie total del acuífero, Vallecillo que abarca el 2.11% y Sabinas Hidalgo con el 1.49%.

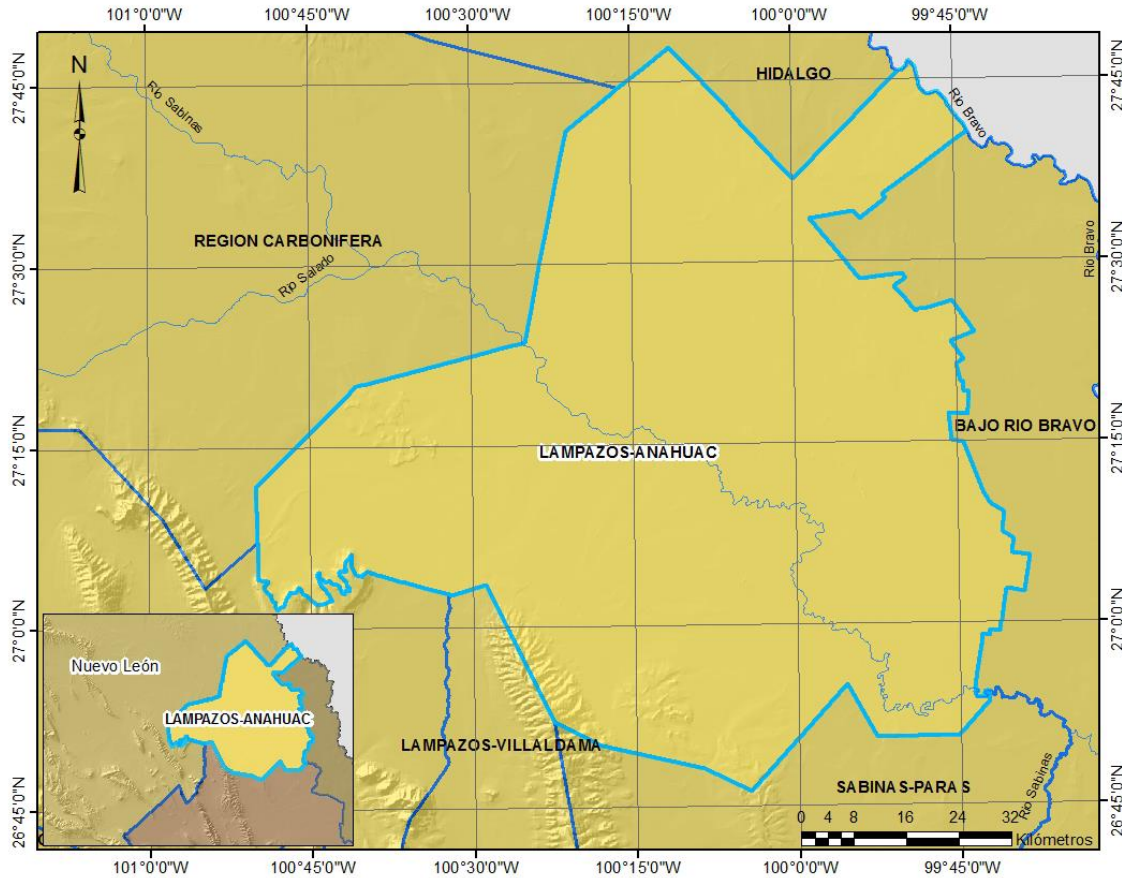


Figura 1.1.35. Localización del acuífero Lampazos - Anáhuac

1.13.2 FISIOGRAFÍA

1.13.2.1 Provincias fisiográficas

De acuerdo con la clasificación de Manuel Álvarez, fisiográficamente la zona del acuífero Lampazos-Anáhuac, se ubica en la provincia de la Llanura Costera del Golfo de México, Subprovincia de la Cuenca del Bravo, en su límite occidental. En la parte más occidental del acuífero inicia la provincia de la Sierra Madre Oriental.

La zona occidental de esta provincia, donde inicia esta cuenca, está constituida por calizas, lutitas, arcillas y algunas areniscas del Cretácico Superior, las cuales por lo suave de sus echados dan lugar a una topografía ligeramente ondulante en la que las lutitas y arcillas forman amplios valles; sin embargo, al poniente se presenta un área de montañas más o menos aisladas en las que predominan las calizas, como son, la Sierra de Lampazos, Pájaros Azules y Picachos, esta última mostrando un núcleo de rocas intrusivas. Esta zona de la Subprovincia se encuentra entre los 300 y 1,000 msnm. Una segunda zona está constituida por los clásticos del Paleoceno, Eoceno, Oligoceno y Mioceno, que forman una sucesión de fajas con rumbo de tierras bajas y cuevas, las primeras formadas por afloramientos de lutitas y arcillas, y las segundas por resistentes estratos de areniscas. Esta zona presenta elevaciones entre 150 y 300 msnm.

1.13.3 CLIMA

El clima que prevalece en la zona del acuífero es de tipo semidesértico cálido. La precipitación media anual varía de 400 a 500 mm, con un periodo de lluvias entre mayo y octubre. La humedad es escasa en todas las estaciones. Se observan inviernos con temperaturas extremas de -2 °C y veranos de 46 °C.

La temperatura media anual en la región del acuífero es de 22.02 °C, con temperaturas reportadas como el mes más frío de 18 °C en promedio y el más cálido un promedio de 31°C.

La precipitación media anual en la región del acuífero es de 403.56 mm, encontrando variaciones que en promedio van de los 300 mm en la zona sur de su territorio hasta un poco más de 600 mm en el centro-norte de la región, con una distribución del periodo de lluvias que abarca del mes de mayo al mes de septiembre.

La evaporación anual del acuífero es de 1,745.78 mm, se presentan valores altos, ya que en el periodo 1990-2012, la evaporación máxima anual fue de 3,208 mm, y la mínima de 2,048 mm, siendo el mes de agosto el que presenta la mayor lámina evaporada.

1.13.4 GEOLOGÍA

Litológicamente el área está constituida principalmente por rocas sedimentarias que varían en edad del Cretácico al Cuaternario, con un gran predominio de rocas de edad cretácica en las sierras, destacando las rocas calizas y alternancias de calizas-lutitas (Figura 1.1.36).

La columna sedimentaria de origen marino se encuentra intrusionada por rocas de composición diorítica. En las partes topográficamente bajas predominan conglomerados del Terciario y material aluvial del Terciario y Cuaternario, a lo largo de los cauces.

Las rocas más antiguas que afloran en el área son del Cretácico Inferior, estas son calizas y dolomías de la Formación Cupido, de edad Hauteriviano Superior-Aptiano Inferior. Sobreyaciendo concordantemente a la formación anterior, afloran calizas y lutitas del Grupo Washita de edad Albiano Superior al Cenomaniano Inferior. Subyace concordantemente a lutitas calcáreas interestratificadas con calizas arcillosas del Cenomaniano Superior-Turoniano, que corresponden a la Formación Eagle Ford del Cenomaniano-Turoniano. Sobreyaciendo de manera transicional a la secuencia anterior se depositó caliza de estratificación mediana, con bandas de pedernal hacia la cima, intercalada con horizontes delgados de lutita-arcillosa, correspondientes a la Formación Austin del Coniaciano-Santoniano.

Un estudio geofísico realizado en la zona, indica que los espesores de los sedimentos granulares cuaternarios y terciarios juntos, presentan un espesor promedio de 12 m en el Rancho La Mezquitosa, localizado al sur del área, 30 Km al sureste del Municipio de Anáhuac.

Las estructuras más significativas que se generaron en la región son pliegues simétricos y asimétricos con ejes orientados preferentemente noroeste-sureste. Asociadas a estos pliegues se desarrollaron cabalgaduras cortas paralelas a los ejes de los pliegues. Se desarrollan también cabalgaduras y fallas inversas producidas por la inyección de yesos en

diapiros. La deformación frágil está representada por fallas de desplazamiento lateral y normal, con direcciones generales noroeste-sureste.

Los rasgos estructurales de la región noreste de México son el resultado de los esfuerzos compresivos ocasionados por la intensa deformación originada por la Orogenia Laramide. La actividad Cenozoica, posterior a la Orogenia Laramide, no está definida en el área, pero en regiones circundantes se manifiesta una intensa actividad tectónica Cenozoica, principalmente de tipo distensivo.

Paleogeográficamente la zona se ubica en la Cuenca de Burgos que forma parte de la Planicie Costera del Golfo; más al oriente, es contenedora de importantes yacimientos de hidrocarburos tipo gas y condensado, también se presentan en menor proporción mantos de carbón, bancos de arena-sílica y bancos de material para la construcción.

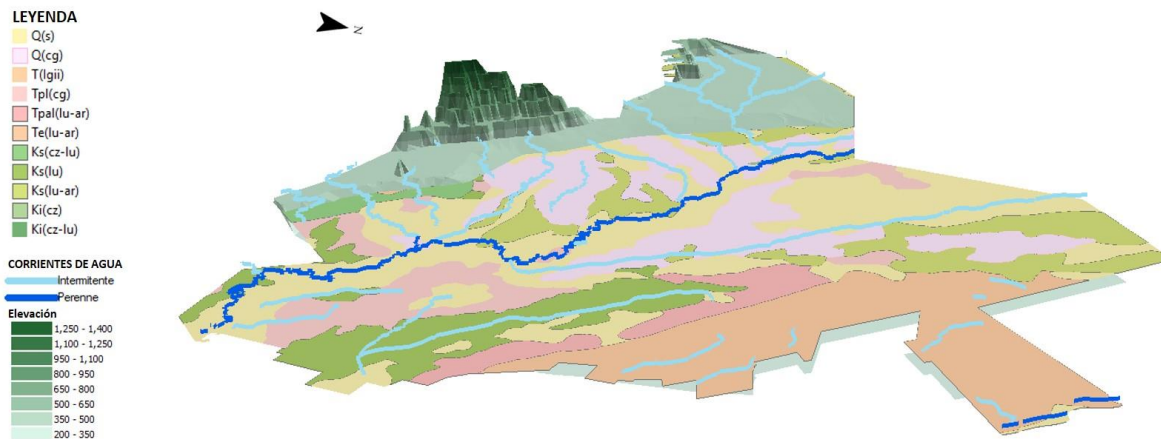


Figura 1.1.36. Geología general del acuífero Lampázos-Anáhuac

1.13.5 HIDROGEOLOGÍA

1.13.5.1 Tipo de acuífero

El acuífero Lampázos-Anáhuac, está constituido por tres unidades hidrogeológicas:

- 1) la más somera conformada por material granular que funciona como libre, con espesores medios de 20 m y de bajo potencial geohidrológico;
- 2) otra unidad de tipo fracturado, que se presenta en lutitas y areniscas fracturadas de las formaciones Méndez, Midway, Wilcox o Carrizo que generalmente se aprovecha en conjunto con el material granular y es de potencial bajo; y
- 3) en la zona poniente del acuífero existen calizas de las Formaciones Cupido y Aurora, que en la zona pueden tener potencial desde bajo a medio, sin embargo, no se conocen pozos perforados en estas formaciones dentro del área del acuífero.

La recarga del acuífero Lampázos-Anáhuac, está representada por entradas verticales que provienen de la infiltración de agua de lluvia tanto en el material granular del valle, como en las sierras donde aflora el medio fracturado, por filtraciones de canales, presas y lagunas,

y a partir de las corrientes superficiales como el Río Salado, y por excedentes de riego en las áreas agrícolas, así como por entradas horizontales. Por otro lado, las salidas están representadas por el bombeo, por salidas horizontales hacia otros acuíferos y en menor proporción por evapotranspiración en las zonas donde el nivel estático es menor a los 5 m de profundidad.

1.13.5.2 Parámetros hidráulicos

En el territorio que cubre el acuífero no se han realizado pruebas de bombeo para la determinación de las propiedades hidráulicas del acuífero.

1.13.5.3 Profundidad del nivel estático

Los valores de profundidad al nivel del agua subterránea o nivel estático en la medición piezométrica del 2009, variaban entre 5 y 30 m. En general, la profundidad al nivel estático, aumenta hacia el noroeste y suroeste en dirección de Lampazos. Se presentan profundidades al nivel con valores mínimos puntuales de 2.7 m y máximos de 29.2 m.

1.13.5.4 Elevación del nivel estático

Las curvas de igual elevación del nivel estático en el año 2009 variaron de 170 a 280 msnm, disminuyendo en elevación de poniente a oriente y de noroeste a sureste. Las entradas horizontales que provienen del oeste, al norte de Lampazos, a la altura de Anáhuac, se unen con el flujo que provienen del noroeste, siguen hacia el sureste, igualando el curso del Río Salado y descargando en él, a lo largo de su cauce.

En general, la evolución del nivel estático para el periodo 2005-2009 en toda la zona presentó valores positivos puntuales hasta de 5 m, con excepción de tres pequeñas zonas, donde se presentan evoluciones negativas puntuales hasta de 6.61 m. Las curvas de mayor recuperación se localizan en zonas cercanas al Río Salado y a los canales de riego, recuperación probablemente asociada a infiltraciones del río, de los canales y por excedencias de riego, ya que las evoluciones positivas están esencialmente alineadas entre los canales y el río.

1.13.5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

La calidad del agua subterránea en el acuífero Lampazos-Anáhuac, respecto a su salinidad varía de regular a mala, ya que se determinaron concentraciones de sólidos disueltos totales entre 524 y 3,623 mg/L, observándose que los valores mayores a 1,000 mg/L son los que presentan una distribución más amplia y se relacionan con circulación del agua subterránea a través de las rocas marinas fracturadas, con contenidos altos de carbonatos y otras sales muy solubles al contacto del agua.

Con relación a la calidad del agua subterránea del acuífero Lampazos-Anáhuac, para uso público urbano, las concentraciones de sólidos totales disueltos superan 1,000 mg/L, en gran parte del acuífero. El sulfato en el agua subterránea se encontró en concentraciones que varían de 20 a 1,920 mg/L.

La dureza del agua será un factor a considerar en algunas zonas del acuífero, por la concentración de calcio encontrada en la zona de estudio que varía de 139 a 1,738 mg/L.

El contenido de sodio varía de 20.9 a 682 mg/L. Los cloruros se presentan en concentraciones de 35.5 a 770 mg/L.

Las concentraciones de Nitratos varían de 0 a 5 mg/L. Por lo que la concentración de los distintos iones, en algunas porciones del acuífero rebasa los límites máximos permisibles para consumo humano, con excepción de la concentración de nitratos, cuyas concentraciones se encuentran por debajo del límite permisible.

De acuerdo con la clasificación de Wilcox, para determinar la calidad del agua subterránea para riego, el agua del acuífero es altamente salina y de bajo contenido en sodio, lo que significa que no puede utilizarse en suelos con drenaje deficiente y solamente se pueden cultivar plantas muy tolerantes a las sales, con la posibilidad de control de la salinidad del suelo, aun con drenaje adecuado. En otros sitios se identificó agua con salinidad media y bajo contenido de sodio, que puede utilizarse con un grado moderado de lavado; sin excesivo control de salinidad se pueden cultivar plantas moderadamente tolerantes a las sales tales.

1.14 BAJO RÍO BRAVO

1.14.1 INFORMACIÓN GENERAL

El acuífero Bajo Río Bravo, clave 2801, pertenece al Consejo de Cuenca del Río Bravo. Es uno de los acuíferos transfronterizos perteneciente a una región poco estudiada, sin embargo, existen diversos informes técnicos de carácter geohidrológico muy espaciados en tiempo (1970, 1981, 1995, 2001, 2005 y 2006) que permiten tener un panorama amplio de la situación del acuífero.

1.14.1.1 Localización

El área de estudio se localiza al noroeste de la República Mexicana, dentro de la Región Hidrológica No. 24 "Río Bravo"; comprende la parte norte del Estado de Tamaulipas y una pequeña parte del Estado de Nuevo León (Figura 1.1.37); abarcando una superficie aproximada de 17,500 Km².

Dicha zona comprende totalmente a 10 municipios de Tamaulipas, que de noroeste a sureste son: Nuevo Laredo, Guerrero, Mier, Miguel Alemán, Gustavo Díaz Ordaz, Reynosa, Río Bravo, Valle Hermoso y Matamoros; así como a 5 del estado de Nuevo León que son: Agualeguas, General Treviño, Los Aldamas, Doctor Coss y General Bravo.

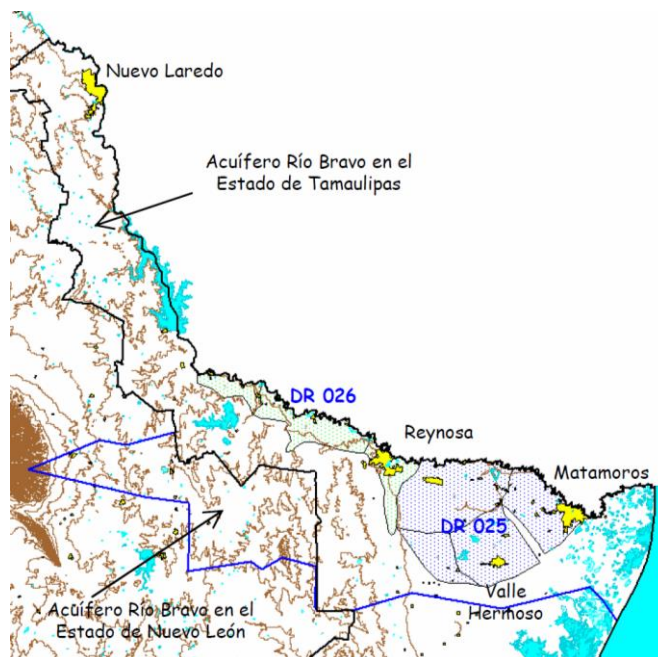


Figura 1.1.37. Localización del acuífero Bajo Río Bravo

1.14.2 FISIOGRAFÍA

1.14.2.1 Provincias fisiográficas

La zona de estudio queda comprendida dentro de la provincia fisiográfica denominada “Llanura Costera del Golfo Norte” en la subprovincia de la Llanura Costera Tamaulipeca.

La zona de estudio presenta una morfología prácticamente llana, se caracteriza por presentar una elevación topográfica entre 30 y 130 msnm, con bajas pendientes, lo que origina que el río Bravo presente zonas con meandros.

Geológicamente la zona de estudio está ubicada en la Subprovincia de la Cuenca de Burgos, adscrita en la Provincia Geológica del Noreste de México (López-Ramos, 1979). Constituye el extremo sur del Miogeosinclinal Terciario del Golfo de México, cuya máxima expresión se presenta en los estados de Texas y Louisiana en la Unión Americana.

1.14.3 CLIMA

En el estado de Tamaulipas, el clima responde fundamentalmente a la influencia de tres condiciones geográficas que son: la latitud a la que se encuentra la entidad, su cercanía al Golfo de México y la altitud de sus tierras.

Por su ubicación geográfica, el área de estudio recibe humedad del Golfo de México por la influencia de los vientos del Este, misma que está condicionada por la oscilación del anticiclón del Atlántico. De igual forma el Trópico de Cáncer divide al estado en dos zonas: su parte sur, en la que predominan los climas cálidos y relativamente húmedos, y su centro y norte más calurosos, con lluvias más escasas distribuidas en el año.

En esta región, a partir de la costa en dirección noroeste, se presentan tres tipos de climas cuyo comportamiento va desde los climas semicálido-subhúmedo a seco-cálido.

Su máxima precipitación se presenta en el mes de septiembre con 140 mm y su máxima temperatura media en el mes de agosto con 29° C; la precipitación invernal es de más del 18% de la total anual.

1.14.4 GEOLOGÍA

La zona en estudio se ubica en la Subprovincia de la Cuenca de Burgos, adscrita en la Provincia Geológica del Noreste de México. Constituye el extremo sur del Miogeosinclinal Terciario del Golfo de México, cuya máxima expresión se presenta en los estados de Texas y Louisiana en la Unión Americana. En el área del acuífero afloran rocas sedimentarias cuya edad varía del Cretácico al Reciente (Figura 1.1.38).

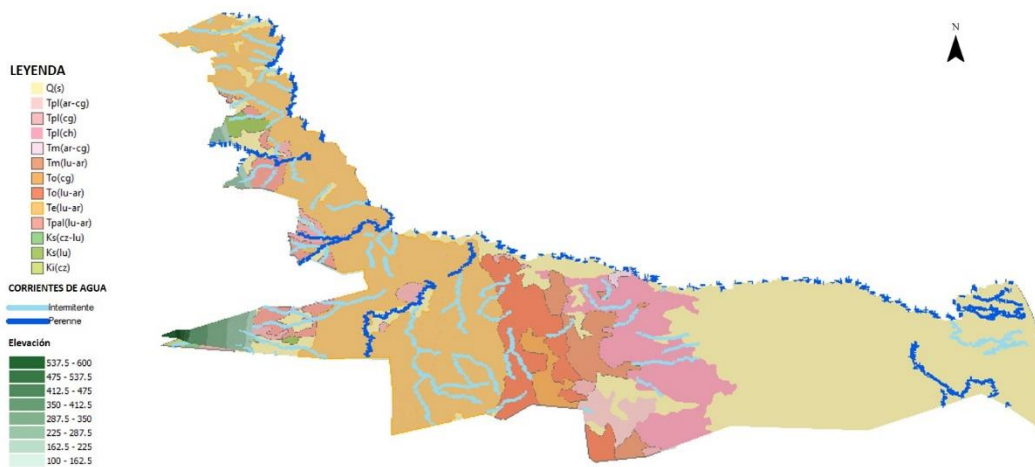


Figura 1.1.38. Geología general del acuífero Bajo Río Bravo

1.14.4.1 Geología del subsuelo

De acuerdo con la información de los pozos de PEMEX y de la SARH según reporta la CONAGUA (2011), por la inclinación, las formaciones geológicas se profundizan de poniente a oriente, con una pendiente de 0.5% a 0.6%; así mismo, éstas tienden a engrosarse en dirección a la línea de costa; por ejemplo se tiene que la base de la Formación Goliad se encuentra a la altura de Reynosa a una profundidad de 100 m y con un espesor de 150 m y en Matamoros a una profundidad de 550 m y 140 m de espesor.

En la Figura 1.1.39 se muestra una sección geológica esquemática orientada en el sentido W-E, desde la sierra Madre Oriental en el estado de Nuevo León hasta el Golfo de México, en la que se muestra la disposición de las unidades litológicas en el subsuelo.

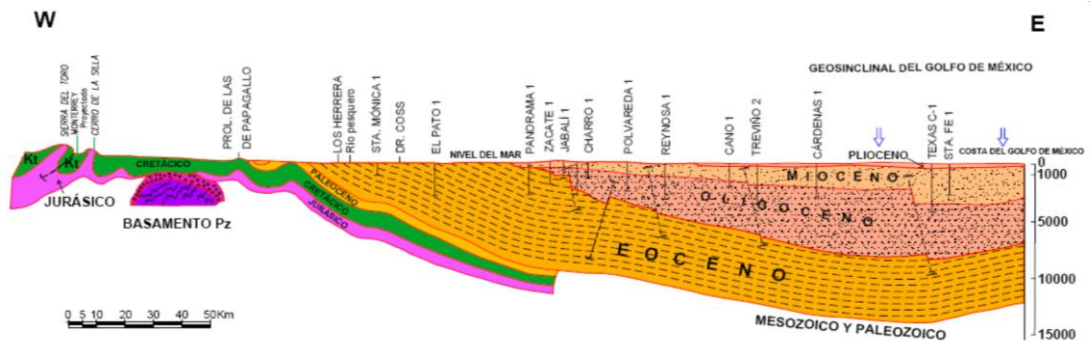


Figura 1.1.39. Geología del subsuelo

Sección Geológica esquemática

En los pozos de la SARH se identificó la variabilidad litológica de la zona de estudio, determinándose que las formaciones Goliad y Lissie tienen un carácter arenoso, siendo más acentuado en esta última. Por el contrario las formaciones Lagarto y Beaumont presentan una predominancia de arcillas.

Por otro lado, la gran distancia entre ellos no permite hacer una correlación litológica a detalle, además que las unidades presentan cambios de facies y ambientes sedimentarios (marinos y continentales). No obstante es posible diferenciar los siguientes elementos geológicos importantes: destacan los depósitos fluvio-deltáicos del río Bravo con lentes de gravas de mediano espesor, intercalados hasta los 150 m de profundidad, en los pozos cercanos al cauce principal (pozo 6); en los pozos sobre los paleo cauces (pozo 17), las gravas se encuentran por encima de los 75 m; en los pozos ubicados sobre las planicies aluviales antiguas (pozo 14), los horizontes de gravas no se presentan.

Estos pozos permiten además establecer que las variaciones litológicas por debajo de los depósitos aluviales deben correlacionarse con la Formación Beaumont. De esta manera es posible establecer que las perforaciones por debajo de los 100 m de profundidad generalmente encontrarán una secuencia de intercalación de arenas, arcillas y limos.

1.14.5 HIDROGEOLOGÍA

1.14.5.1 Tipo de acuífero

En esta región los materiales del subsuelo son derivados de amplias planicies de inundación y antiguos deltas y consisten de una compleja inter-estratificación de capas y lentes de arcillas, limo, arenas y gravas. Se tienen cambios litológicos en cortas distancias, tanto horizontales como verticalmente. Esta inter-estratificación ha generado un sistema acuífero semiconfinado.

Diversos estudios han identificado y clasificado algunas zonas de producción de agua subterránea, sin embargo las fuentes principales, en cantidad y calidad se encuentran emplazadas en los depósitos aluviales y fluviales del río Bravo; otras se encuentran localizadas en antiguos cauces abandonados del mismo río y el resto se ubican en porciones arenosas de las formaciones geológicas terciarias de la región.

En trabajos recientes CONAGUA (2006) realizó una zonificación basada en las características litológicas de las unidades descritas en el capítulo de geología, así como en la calidad del agua que contienen, se definieron las unidades hidrogeológicas que a continuación se describen siguiendo la secuencia estratigráfica e iniciando por la más antigua.

- Unidad I. Acuífero pobre a muy pobre con agua subterránea de mala calidad; esta unidad incluye a las formaciones del Terciario que van del Mioceno a más antiguas; estas unidades litológicas se caracterizan por estar inclinadas de forma suave hacia el oriente, por lo que en la zona de Valle Hermoso se localizan ya por debajo de los 700 m de profundidad: Afloran en la porción centro y occidental del acuífero administrativo denominado Bajo Río Bravo (ABRB).
- Unidad II. Acuífero de potencialidad media, con agua subterránea de buena a regular calidad; está integrado por las formaciones Goliad y Lissie, ubicadas al centro-este del ABRB. Al igual que la unidad anterior estas formaciones están inclinadas hacia el este, por lo que en la zona de Valle Hermoso se ubican a una profundidad del orden de 300 m.
- Unidad III. Acuitardo con algunos horizontes acuíferos de baja potencialidad; contiene agua subterránea de muy mala calidad; está conformado por la Formación Beaumont y se localiza al este del ABRB.
- Unidad IV. Acuífero de potencialidad media a baja, espesor reducido, que contiene agua subterránea de mala calidad; está formado por los sedimentos acumulados en los antiguos cauces del río Bravo; se localizan en la porción este del ABRB.
- Unidad V. Acuífero de potencialidad media, con agua de buena calidad; está constituido por los sedimentos aluviales recientes del río Bravo; su principal área de exposición está entre las poblaciones de Reynosa y Matamoros, donde su espesor es muy irregular y varía de 200 a menos de 15 m.
- Unidad VI. Acuífero pobre a muy pobre con agua de regular a mala calidad, constituida por sedimentos aluviales de poco espesor; se localizan en la porción centro-sur y suroeste del ABRB.
- Unidad VII. Acuitardo con agua de mala a muy mala calidad; está emplazado en los sedimentos costeros que se ubican en el extremo oriente del ABRB.

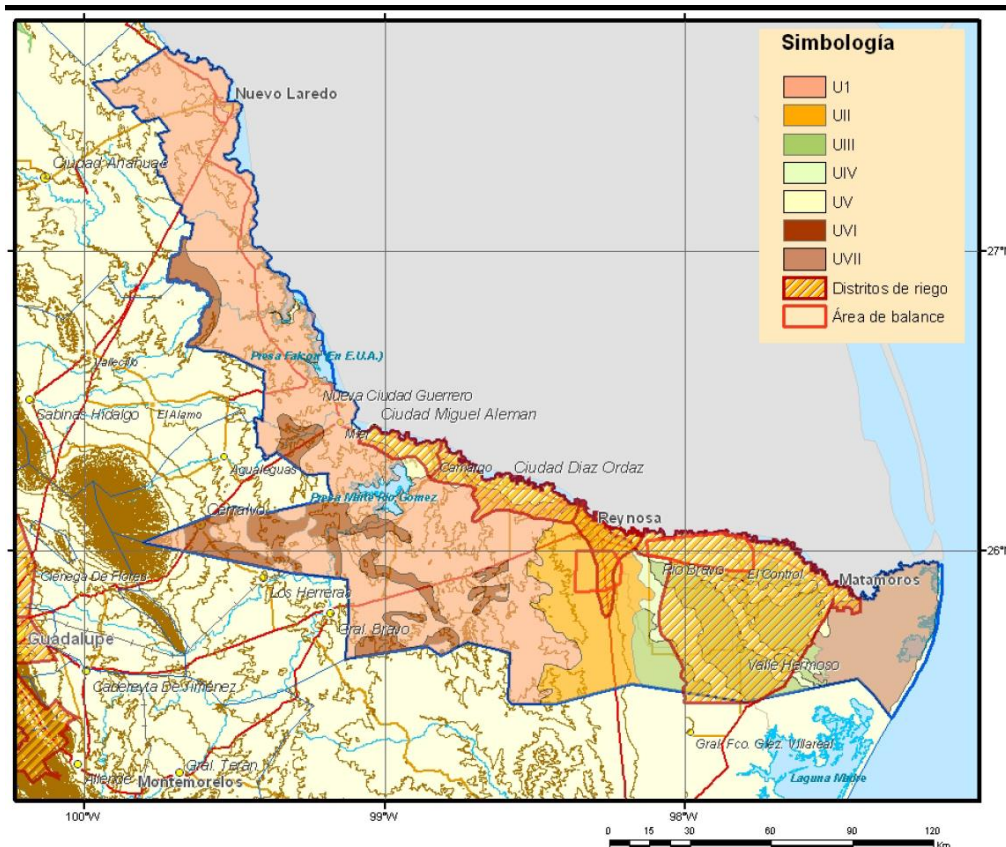


Figura 1.1.40. Unidades hidrogeológicas

De estas unidades hidrogeológicas las más importantes, por la cantidad y calidad del agua que contienen, son la II y la V, las cuales contienen a los dos sistemas acuíferos principales del ABRB; al primero de estos sistemas se le denomina “Acuífero Sur de Reynosa” y al segundo “Acuífero Reynosa–Matamoros”.

Estos dos sistemas desde la población de Río Bravo hasta la costa están separados por la unidad hidrogeológica III (materiales semiconsolidados de predominancia arcillosa de la Formación Beaumont), que como se ha dicho constituye un acuitardo y sólo en sus horizontes más arenosos se forman acuíferos de baja productividad, con agua de alta salinidad. A este sistema hidrogeológico se le denomina como “Acuitardo Beaumont”.

1.14.5.2 Parámetros hidráulicos

De los resultados de la interpretación de la prueba de bombeo realizadas en el 2006 los valores de Transmisividad varían de 0.3 a $17.1 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$; en tanto que los valores de la Conductividad Hidráulica oscilan entre 0.17 y 12.0 m/día. Para el caso del coeficiente de almacenamiento, los valores reportados varían de 1.0×10^{-3} a 12.8×10^{-4} .

1.14.5.3 Profundidad del nivel estático

Tradicionalmente la Gerencia Estatal de la CONAGUA ha venido realizando, desde 1978 mediciones anuales de los niveles del agua en una red piezométrica establecida en la zona del Distrito de Riego Bajo Río Bravo. Sin embargo, aunque la red está integrada por aprovechamientos espacialmente distribuidos, su localización presenta algunos problemas. Por un lado, al encontrarse a diferentes profundidades no representan a la misma unidad; y, por otro, su ubicación se decidió tomando en cuenta que se trataba de una sola unidad acuífera.

La información disponible no permite diferenciar de forma detallada las profundidades en los aprovechamientos, sólo se diferencian por el tipo de obra ya que hay norias poco profundas (menores a 15 m); norias y pozos de diámetro pequeño equipados con aeromotores (papalotes) de mediana profundidad (20 a 50 m) y pozos de diámetro grande con profundidades variables que llegan a alcanzar los 200 m. Tampoco se conocen las características constructivas de las obras, por lo que sólo se supone que las norias y pozos pequeños someros están abiertos en toda su extensión; sin embargo hay pozos más profundos que tienen ademes lisos y ademes ranurados (rejillas) en diferentes tramos.

En el 2006 la CONAGUA realizó un estudio para la elaboración de las configuraciones en aquellas zonas que presentaban información consistente, donde fue posible identificar los aprovechamientos representativos de la unidad hidrogeológica constituida por depósitos aluviales del cauce del Río Bravo y los horizontes arenosos superiores de la Formación de Beaumont. Las dos zonas identificadas para la elaboración de las configuraciones del nivel estático y el balance de aguas subterráneas fueron Reynosa – Matamoros y Sur de Reynosa (Figura 1.1.41)

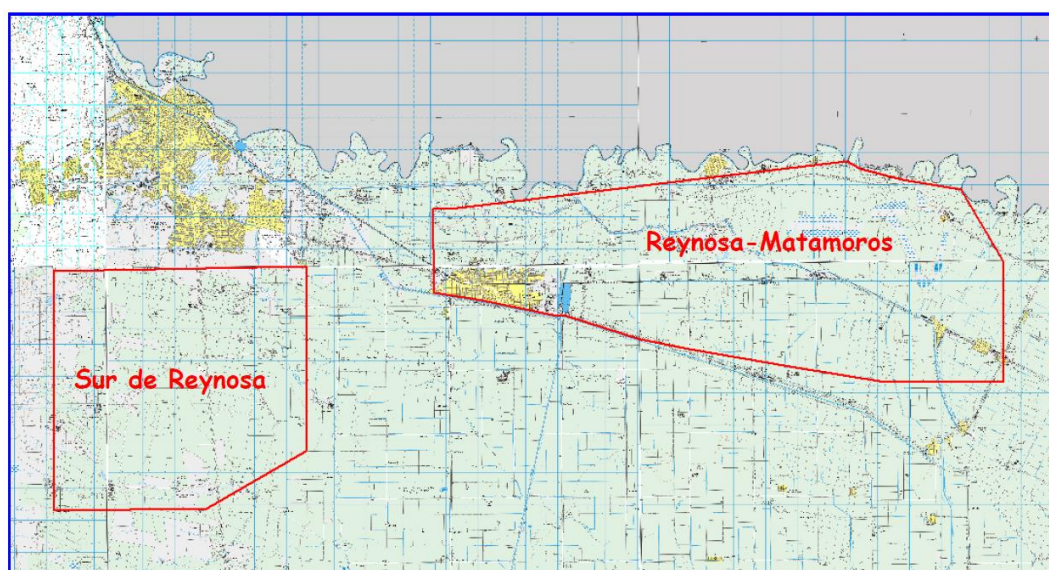


Figura 1.1.41. Áreas seleccionadas para la elaboración de las configuraciones del Bajo Río Bravo (CONAGUA, 2006)

Por lo tanto los datos de profundidad de nivel estático son los siguientes de acuerdo al estudio de CONAGUA 2006 corresponden a lo siguiente:

Zona Reynosa-Matamoros. Prácticamente todos los valores de profundidad al nivel estático son someros, por debajo de los 10 m; las mayores profundidades (ligeramente mayores de 8 m) se observan en las inmediaciones del cauce del Río Bravo, controlados por la leve topografía que generan las terrazas fluviales y los bordos de protección del río (Figura 1.1.42).

Las menores profundidades (menores a 4 m) se ubican al noroeste de la población de Río Bravo y al sureste de Nuevo Progreso; en general los valores disminuyen hasta encontrarse en un rango entre 5 a 6 m, hacia la porción interna en la zona de la planicie del Distrito de Riego 025 Bajo Río Bravo.

Par la zona Sur de Reynosa, el agua subterránea se encuentra a profundidades que oscilan entre 15 y 50 m, los valores mayores se ubicaban al poniente de la región, en las inmediaciones de las localidades “Nueva Libertad” y “División del Norte”. Se observa que la distribución de valores depende de la conformación topográfica. En la zona sur, más cercana a Reynosa, se registran profundidades entre los 22 y 25 m. Los niveles menos profundos se localizan en las cercanías del canal Rodhe. En la porción sur se observa una distorsión, en donde se tienen mayores profundidades (40 a 45 m), esto quizás provocado por el incremento de la extracción en esa zona.

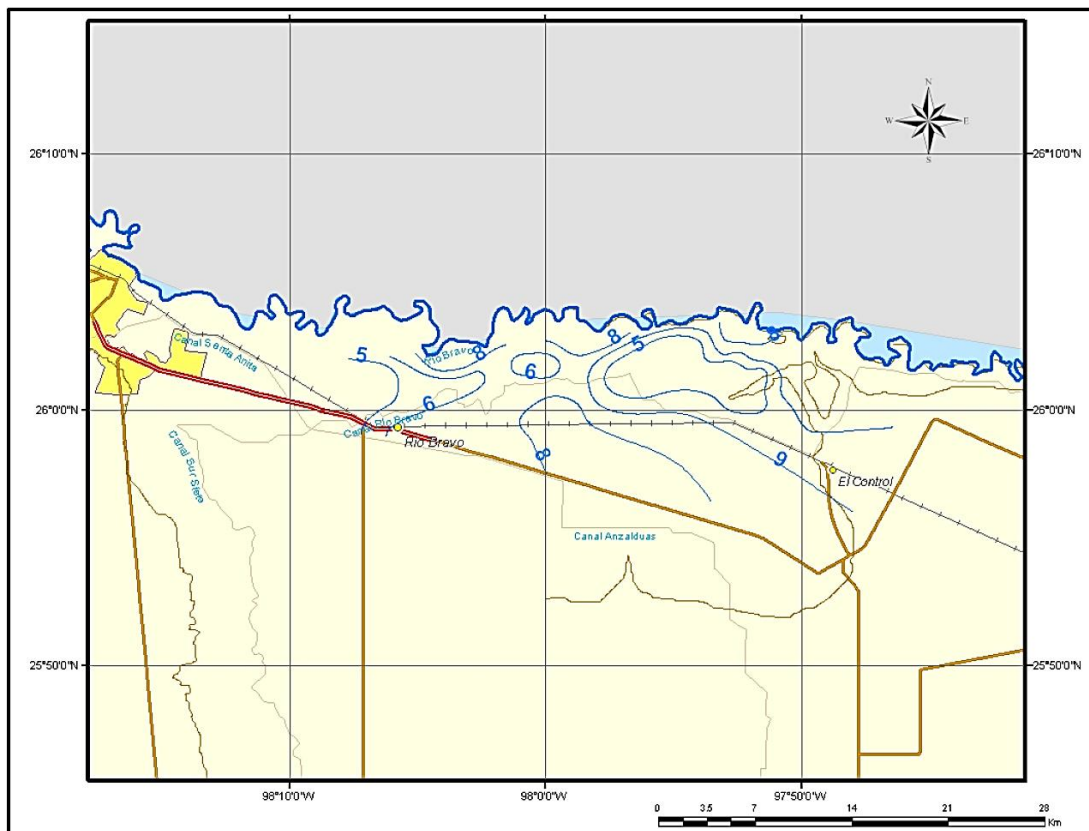


Figura 1.1.42. Profundidad al nivel estático en m (CONAGUA, 2006)

1.14.5.4 Elevación del nivel estático

La distribución de las equipotenciales en la zona Reynosa–Matamoros, muestra una dirección de flujo proveniente del sur y poniente al noreste; el flujo parte de la porción sur de Río Bravo en donde se tienen las mayores elevaciones (25 msnm); en general la tendencia en el movimiento del agua es hacia el noreste y solamente al este de Nuevo Progreso se presenta una dirección franca al norte (Figura 1.1.43).

Los gradientes se mantienen en la zona oriental, alrededor de 5.0×10^{-4} ; sin embargo, aumentan ligeramente al norte de Río Bravo alcanzando 1.23×10^{-3} , esto generado aparentemente por el incremento en la extracción del lado norteamericano, lo que afecta a las equipotenciales en la zona de Nuevo Progreso.

Para la zona Sur de Reynosa se presenta un esquema general de flujo en dirección de poniente a oriente en la que el agua proviene del poniente de las zonas de afloramiento de las formaciones que constituyen el acuífero. Las elevaciones varían de 60 msnm, en la región de “Los Realitos”, hasta ser ligeramente menores a los 20 msnm en las planicies de la zona de riego (canal Rodhe). Los gradientes hidráulicos son mayores en la porción norte que en la porción sur, lo cual puede deberse a cambios en la permeabilidad.

Es notable la distorsión en la dirección del flujo generada por la extracción en la zona sureste, específicamente en las proximidades de las rancherías de San Isidro y Santa Teresa, en donde se tiene la equipotencial cerrada de 10 msnm que limita la zona más profunda del cono de abatimiento. En general se observa que la envolvente de 20 msnm delimita la zona de afectación al flujo original.

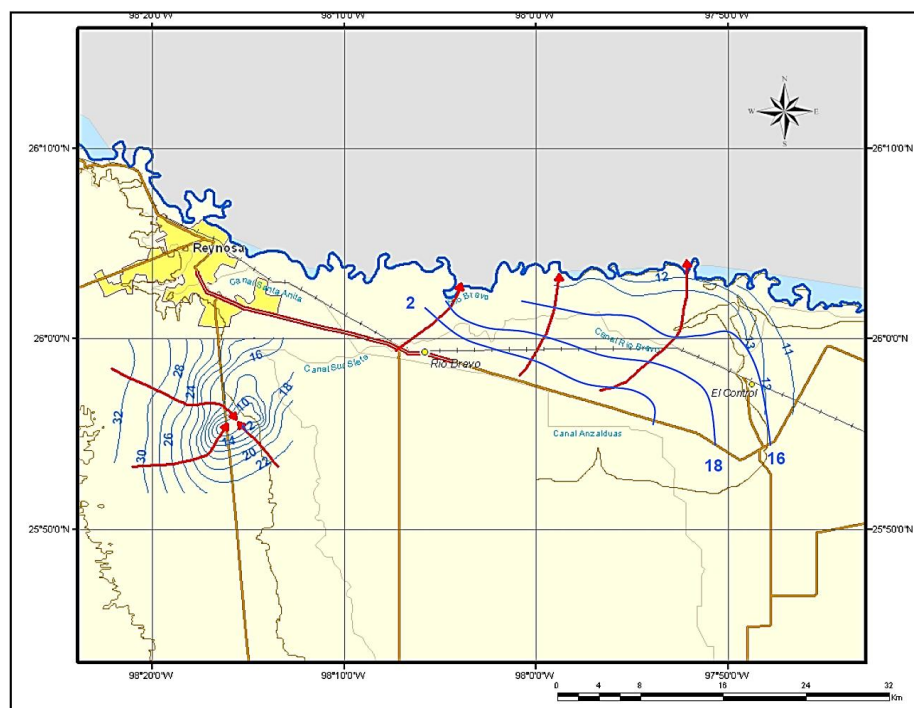


Figura 1.1.43. Profundidad al nivel estático en m (CONAGUA, 2006)

1.14.5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

Los estudios realizados desde las décadas de los setenta, coinciden en que la mejor agua se ubica a lo largo del cauce actual del Río Bravo, sin registrar cambios importantes en cuanto a su salinidad a lo largo del tiempo. No obstante, lejos de la influencia del río, se ha notado un por lo general por debajo de los 150 m de profundidad, sin embargo no se ha definido una ocurrencia preferencial excepto para algunas muestras de agua poco profundas, lo que podría indicar afectaciones por retornos de riego o ascensos de aguas salinas más profundas. También se aprecia que las aguas dulces o moderadamente salinas se ubican por encima de los 30 m. En cuanto a su distribución, se destacan las zonas de agua “dulce” ubicadas a lo largo del cauce del río Bravo y tierra adentro en zonas de acuíferos someros, principalmente de las formaciones Goliad y Lissie.

Por otro lado, las evidencias de los registros eléctricos sugieren también que la salinidad del agua cambia lateral y verticalmente en el acuitardo Beaumont, se ha reportado que este deterioro en la calidad se incrementa conforme se aleja del Río Bravo a mayor profundidad. Esta variación también se encuentra relacionada con la productividad de los materiales y es marcada la asociación de baja productividad de los pozos en la medida que se alejan de la zona ribereña. Como una evidencia de lo anterior, los mejores pozos en cuanto a su productividad y con agua de menor salinidad se encuentran explotando a los depósitos aluviales y fluviales del cauce actual del Río Bravo. Fuera de este ámbito, así como a profundidad, la productividad y la calidad del agua decrecen en la medida que se alcanzan los depósitos de las formaciones del Terciario Superior (Formación Goliad) y del Pleistoceno (formaciones Lissie y Beaumont).

Estudios (CFE, 2001) han demostrado la existencia de cauces antiguos del Río Bravo, con mejores condiciones de permeabilidad; sin embargo, al estar desconectados del cauce actual, su renovación con agua dulce está limitada solamente a la lluvia local, que genera un lente somero de poco espesor. Aunque muchas veces también la cercanía del mar genera que el agua precipitada por las tormentas tenga una mayor salinidad que el agua de lluvia que ocurre continente adentro. El incremento de salinidad con la profundidad está asociado a procesos de disolución de minerales locales, y evaporación de las aguas de riego agrícola; en algunas zonas además se pueden esperar aguas antiguas provenientes de salmueras, que han migrado desde las profundidades por fracturas y fallas en los depósitos terciarios subyacentes (no olvidar que la zona se ubica en la “Cuenca de Burgos”, región productora de petróleo).

Los estudios previos (SRH, HIDROTEC, 1969; SARH, Servicios Geológicos, 1981; CONAGUA, IEPSA, 2005) han demostrado que la salinidad del agua subterránea en la región del área administrativa del acuífero del Bajo Río Bravo, varía desde 600 mg/L hasta más de 11,000 mg/L, por lo que gran parte del acuífero presenta valores altos de salinidad. Los principales iones que favorecen el incremento de STD son el sodio y los cloruros.

En cuanto a la calidad del agua para riego, la mayoría de las muestras de agua provenientes de los pozos se clasifican como C4-S2 y C4-S3, que corresponden a agua con muy alto

contenido de sales con contenido medio y alto de sodio; por lo que no se consideran apropiadas para la agricultura. En menor proporción se presentan agua C3-S1, salinidad alta y bajo contenido de sodio, y C4-S4 que representa muy altos contenidos de sales y de sodio.

1.15 AGUALEGUAS - RAMONES

1.15.1 INFORMACIÓN GENERAL

El acuífero Agualeguas-Ramones, clave 1905, se localiza en la porción noreste del estado de Nuevo León, y abarca un área de 1,766.7 Km². Administrativamente el acuífero corresponde a la Región Hidrológico-Administrativa Río Bravo.

1.15.2 FISIOGRAFÍA

Fisiográficamente la superficie del acuífero Agualeguas-Ramones, se ubica en la provincia de la Llanura Costera del Golfo de México, subprovincia de la Cuenca del Bravo, en su límite occidental. En la parte más occidental del acuífero inicia la provincia de la Sierra Madre Oriental.

1.15.3 GEOLOGÍA

La litología de la zona está constituida principalmente por rocas sedimentarias que varían en edad del Cretácico al Cuaternario, con un gran predominio de rocas de edad cretácica en las sierras, destacando las rocas calizas y alternancias de calizaslutitas.

En el Terciario la secuencia Cretácica se ve afectada por intrusiones de tipo sienítico, diorítico y granodiorítico. En las partes topográficamente bajas predominan conglomerados del Terciario y material aluvial y fluvial a lo largo de los cauces.

Estratigráficamente las rocas más antiguas que afloran en el área son del Cretácico Inferior; éstas son calizas de la Formación Cupido, de edad Hauteriviano SuperiorAptiano

Inferior. Su contacto superior, con la Formación La Peña de edad Aptiano Superior es concordante; constituida por calizas arcillosas de estratificación delgada en alternancia con lutitas calcáreas.

1.15.4 HIDROGEOLOGÍA

El acuífero Agualeguas-Ramones, está constituido por tres unidades hidrogeológicas:

- 1) la más somera conformada por material granular que funciona como libre, con espesores máximos de 30 m y de bajo a muy alto potencial geohidrológico;
- 2) una conformada por un medio fracturado que se presenta en lutitas y areniscas fracturadas de las Formaciones Méndez, Midway, Wilcox, Carrizo, Big Ford y Pico Clay, que generalmente se aprovecha en conjunto con el acuífero granular cuando está subyaciéndolo y es de potencial bajo; y

3) calizas las Formaciones Cupido y Aurora constituidas de calizas que pueden tener potencial desde bajo a muy alto, dependiendo del grado de fracturación y carstificación que presenten.

1.15.4.1 Profundidad del nivel estático

Los valores de profundidad al nivel estático en el acuífero Agualeguas-Ramones, en el año 2009, se presentaron entre 1.4 y 31.2 m, localizándose los niveles más someros al norte de Agualeguas, mientras que los más profundos se localizan en las estribaciones de la Sierra El Picacho, al noroeste de Ciudad Cerralvo. La profundidad al nivel estático disminuye en el sentido suroeste-noreste, iniciando con una profundidad de 30 m para concluir con una curva de 2 m de profundidad.

1.15.4.2 Elevación del nivel estático

La elevación del nivel estático en el acuífero varía de 140 a 340 msnm, disminuyendo en forma general, de suroeste a noreste, siguiendo casi la misma dirección que la carretera Cerralvo-Mier. En forma general, el flujo subterráneo ocurre de noroeste a sureste, con la tendencia general a descargar hacia el noreste, en dirección del acuífero Bajo Río Bravo, siguiendo la dirección del Río Agualeguas.

La evolución del nivel estático en el período de los años 2005 a 2009, varían de 14 a 5 m, mostrándose los valores positivos en las zonas oriental y norte del acuífero, zona donde se presenta en promedio 2 m de recuperación del acuífero en el periodo, con recuperaciones máximas hasta de 5 m. Los valores negativos se observan de la parte media hacia el suroeste, mostrando un abatimiento medio de 3 m en el periodo, con abatimientos máximos de 14 m en las estribaciones de la sierra, al noroeste de Ciudad Cerralvo.

1.15.4.3 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

En el medio granular del acuífero Agualeguas-Ramones, la salinidad del agua subterránea varía de regular a buena, en general, las menores concentraciones de sólidos disueltos totales se observan en las estribaciones de la Sierra El Picacho, aumentando en concentración hacia el noreste, en la misma dirección del flujo subterráneo, con excepción de algunos datos puntuales, mayores a las 1,000 mg/L, relacionados con el medio fracturado.

1.16 ALDAMA – SAN DIEGO

1.16.1 INFORMACIÓN GENERAL

El acuífero Aldama-San Diego, clave 0836, se localiza en la porción central del Estado de Chihuahua, cubre una superficie aproximada de 1,620 Km² y comprende parcialmente a los municipios de Aldama, Aquiles Serdán y Rosales, y en porciones muy reducidas en el sur, a los municipios de Chihuahua y Julimes, todos ellos pertenecientes al Estado de Chihuahua. Administrativamente corresponde a la región hidrológica administrativa Río Bravo.

1.16.2 FISIOGRAFÍA

El acuífero Aldama-San Diego, de acuerdo al Instituto Nacional de Estadística y Geografía se encuentra entre las Provincias Fisiográficas denominadas Sierras y Llanuras del Norte y Sierra Madre Occidental.

Gran parte del acuífero Aldama-San Diego, queda comprendida en la Provincia Sierras y Llanuras del Norte, dentro de la Subprovincia Bolsón de Mapimí, en donde los rasgos del relieve tienen poca variedad, ya que las llanuras se extienden por grandes distancias áridas y uniformes, sin otro cambio que su declive gradual hacia el oriente, mientras que la Sierra Madre Occidental está conformada por rocas volcánicas de composición riolítica.

1.16.3 GEOLOGÍA

El acuífero Aldama-San Diego, se encuentra alojado en un sistema granular no consolidado de origen aluvial, constituido por depósitos de arenas intercaladas con limos y arcillas, con espesores que van de 30 a 600 m, depositados sobre una secuencia volcanoclástica de riolitas, tobas y piroclastos.

La secuencia estratigráfica contiene unidades cuya edad varía desde el Precámbrico hasta el Reciente. El basamento sobre el que descansa la secuencia Paleozoica está constituido por rocas graníticas y metamórficas del Precámbrico; las rocas sedimentarias marinas de facies de plataforma y mar abierto del Mesozoico, conformadas por calizas, margas y lutitas, que fueron sometidas a fases compresivas y distensivas, que conforman grandes bloques emergidos o hundidos que en ocasiones denotan movimientos horizontales de transcurrencia o cabalgamiento, controlando la sedimentación y sus posteriores deformaciones.

La secuencia volcánica ácida del Terciario Inferior está conformada por tobas, flujos piroclásticos e ignimbritas fracturadas, que constituyen la zona de recarga, mientras que los basaltos se encuentran en forma de derrames con estructura fluidal e intrusiones fisurales; estos basaltos presentan intenso fracturamiento y textura vesicular y amigdaloide; las amígdalas están rellenas de calcita y sílice coloidal, lo que disminuye su porosidad y permeabilidad.

El Conglomerado Polimíctico del Terciario, consiste de gravas y arenas constituidas por fragmentos líticos de calizas y rocas volcánicas, subangulosos a subredondeados, poco consolidados, que forman abanicos aluviales.

Las unidades recientes están compuestas por sedimentos no consolidados de origen aluvial, fluvial y lacustre, que consisten en gravas, arenas, limos y arcillas derivados de la erosión de las rocas preexistentes, transportados por corrientes fluviales para ser acumulados hacia las zonas de planicies y valles, que se encuentran ampliamente distribuidos hacia las partes centrales del acuífero, las cuales sobreyacen a rocas ígneas extrusivas de más de mil m de espesor.

Al noreste del acuífero se reporta una serie de pliegues anticlinales y sinclinales en rocas cretácicas ocasionadas por el evento compresivo de la Orogenia Laramide. Estructuralmente el área presenta abundantes fallas normales de orientación noroestesureste, las cuales afectan a toda la secuencia estratigráfica, este fallamiento es producto del evento distensivo de cuencas y sierras.

1.16.3.1 Geología del subsuelo

El acuífero se encuentra alojado en un sistema granular no consolidado de origen aluvial, constituido por depósitos de arenas intercaladas con limos y arcillas, con espesores que

van de 30 a 600 m, depositados sobre una secuencia volcanoclástica (riolitas, tobas, piroclastos).

1.16.4 HIDROGEOLOGÍA

El acuífero Aldama-San Diego es de tipo libre, presenta una permeabilidad que varía de media a baja y se aloja en sedimentos aluviales depositados en el centro del valle, constituidos por arenas intercaladas con arcillas y limos estratificados, cuyo espesor puede alcanzar los 800 m.

1.16.4.1 Parámetros hidráulicos

De acuerdo con la interpretación de 6 pruebas de bombeo de larga duración, tanto en su etapa de abatimiento como recuperación, los valores de transmisividad obtenidos varían de 1.62×10^{-7} m²/s a 0.038 m²/s (14 m²/día a 3,196 m²/día); en tanto que para la conductividad hidráulica se reportan valores que oscilan entre 5.9×10^{-7} m/s a 9.46 m/s (0.050 y 8.00 m/día). Los valores más altos de estos parámetros hidráulicos se registran en los aprovechamientos ubicados cerca del Río Chuvíscar.

En promedio se obtuvo una transmisividad de 0.01 m²/s (840 m²/día) y una conductividad hidráulica de 2.33×10^{-5} m/s (1.97 m/día).

1.16.4.2 Profundidad del nivel estático

En 2007 la profundidad al nivel estático era variable, desde niveles someros entre 10 y 20 m sobre los márgenes del Río Chuvíscar, hasta niveles mayores a 90 m en la parte centro occidental del acuífero (Figura 1.1.44). Niveles intermedios entre 30 y 50 m se observan en el extremo sur del área, mientras que el único cono de abatimiento de dimensiones considerables se localiza en el extremo norte del acuífero, se trata de un cono compartido entre los acuíferos Aldama-San Diego y Laguna de Hormigas, cuyas profundidades son mayores a 100 m.

Tomando en cuenta la información disponible para 1971 y 2007 se estimó un abatimiento promedio de 7.5 m en 36 años, lo cual implica un descenso de niveles de 0.2 m/año.

En este periodo de tiempo los niveles piezométricos han evolucionado de una manera distinta, al sur han descendido hasta 30 m (0.8 m anuales), la zona centro norte registra descensos de 20 m (0.5 m anuales) y en la porción norte del acuífero existen recuperaciones positivas de hasta 5 m (0.13 m anuales).

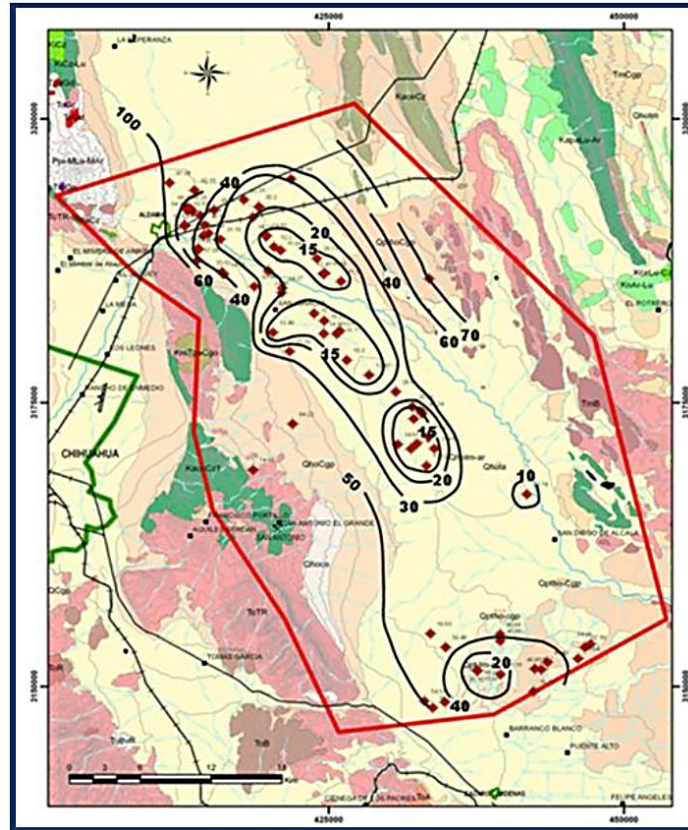


Figura 1.1.44. Profundidad al nivel estático en m, 2007 (CONAGUA, 2015)

1.16.4.3 Elevación del nivel estático

La elevación del nivel estático en 2007 (Figura 1.1.45) evidencia flujos subterráneos que ingresan al acuífero por el extremo occidental, en donde se presentan valores entre 1,200 y 1,230 msnm. En la parte norte del acuífero donde se presenta una segunda zona de recarga, los valores fluctúan entre 1,240 y 1,220 msnm.

Las equipotenciales muestran un comportamiento paralelo la dirección del escurrimiento del Río Chuvíscar, manifestando de esta manera que las alimentaciones provienen de la sierras que delimitan el valle. El cono de abatimiento ubicado al norte del acuífero no ha alterado la dirección preferencial del flujo subterráneo.

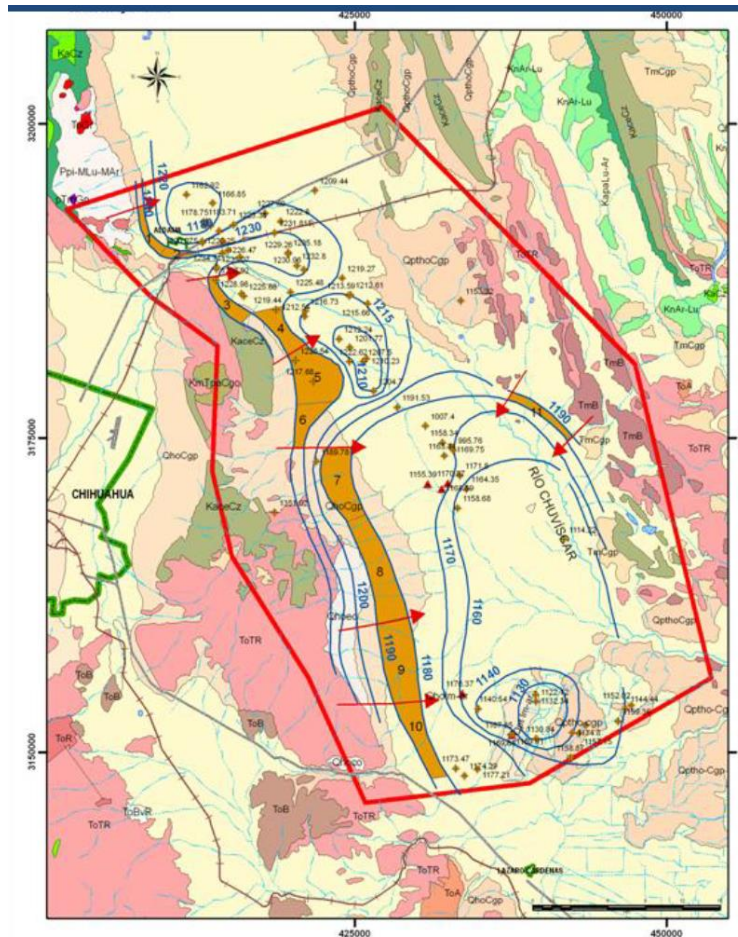


Figura 1.1.45. Elevación del Nivel Estático, 2007 (CONAGUA, 2015)

1.16.4.4 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

La información hidrogeoquímica en el acuífero no es reciente, pero se infiere que el agua es de buena calidad, debido a que los gradientes hidráulicos favorecen su rápida circulación desde las zonas de recarga. Esto hace que los tiempos de residencia sean cortos y el agua de reciente infiltración contenga un bajo contenido de sólidos totales disueltos. Sin embargo a nivel regional existen antecedentes de la presencia de flúor y arsénico.

1.17 ALTO RÍO SAN PEDRO

1.17.1 INFORMACIÓN GENERAL

El acuífero Alto Río San Pedro, clave 0838, se localiza en la parte central del Estado de Chihuahua, cubre una superficie de 9,926.96 Km² y comprende totalmente a los municipios de Dr. Belisario Domínguez y Santa Isabel, y parcialmente a los municipios de San Francisco de Borja, Gran Morelos, Rosales, Saucillo, Chihuahua, Delicias, Satevo, Cuahtémoc, Cusihuirachi, Carichi, Nonoava, Valle de Zaragoza y Riva Palacio. Administrativamente corresponde a la región hidrológico-administrativa Río Bravo.

1.17.2 FISIOGRAFÍA

El acuífero Alto Río San Pedro, se encuentra en las Provincias Fisiográficas Sierra Madre Occidental y Sierras y Llanuras del Norte. La porción sureste del acuífero se encuentra en la Provincia Fisiográfica Sierras y Llanuras del Norte, en la Subprovincia Bolsón de Mapimí que presenta pequeñas sierras plegadas y lomeríos escarpados, que corresponden en su parte boreal a rocas volcánicas de tipo ácido.

1.17.3 GEOLOGÍA

En el acuífero Alto Río San Pedro, afloran calizas plegadas de origen marino del Mesozoico, rocas ígneas volcánicas e ígneas intrusivas de composición granítica y granodiorítica del Terciario, conglomerados y depósitos sedimentarios no consolidados del Reciente.

Las rocas volcánicas son de composición riolítica, andesítica y basáltica y conforman la mayoría de las sierras y mesetas en la zona de estudio. Las rocas de composición riolítica aparecen ampliamente distribuidas en el área, formando parte de las sierras que tienen las mayores altitudes; en algunos afloramientos se observa alternancia de riolitas con tobas ácidas brechoides. Cubren discordantemente a las rocas sedimentarias del Mesozoico, y aparecen en algunas partes cubiertas por derrames de basalto, como sucede sobre la carretera Chihuahua a General Trías, en el tramo de Palomas a San Pedro, y generalmente, están cubiertas por depósitos aluviales del Terciario Superior-Cuaternario.

1.17.3.1 Geología del subsuelo

El acuífero Alto Río San Pedro, está integrado por un medio granular y un medio fracturado, conectados hidráulicamente a través de sistemas de fallas y fracturas. El medio granular está conformado por depósitos aluviales y fluviales compuestos principalmente por arenas y gravas, cuya permeabilidad es alta, aunque su extensión es limitada, ya que se restringen a los cauces de los arroyos.

1.17.4 HIDROGEOLOGÍA

El acuífero se comporta como un acuífero de tipo libre en los depósitos aluviales y como semiconfinado en las rocas riolíticas y calcáreas a profundidad. Las zonas de recarga se encuentran en las sierras conformadas por el medio fracturado constituido por rocas riolíticas y calizas. El flujo de agua subterránea a través del medio fracturado tiene una dirección preferencial que circula del noroeste al sureste.

Las condiciones geohidrológicas de la región son bastante complejas debido a la heterogeneidad de las rocas geológicas que comprenden no sólo las eminencias sino también los valles; el aprovechamiento de las aguas subterráneas es sumamente reducido.

1.17.4.1 Parámetros hidráulicos

En el territorio que cubre el acuífero no se han realizado pruebas de bombeo para la determinación de las propiedades hidráulicas del acuífero.

1.17.4.2 Profundidad del nivel estático

La profundidad al nivel de saturación o estático, medida desde la superficie del terreno en 1985, presentó valores de 5 a 100 m; los niveles más someros se presentaron en la zona norte, en las proximidades de San Andrés y Santa Isabel. De manera generalizada se cuenta con profundidad al nivel estático de los 20 a los 30 m, ubicados principalmente en

la zona de valles, mientras que las mayores profundidades están en las partes cercanas a las elevaciones topográficas en la región nororiental del acuífero (Figura 1.1.46).

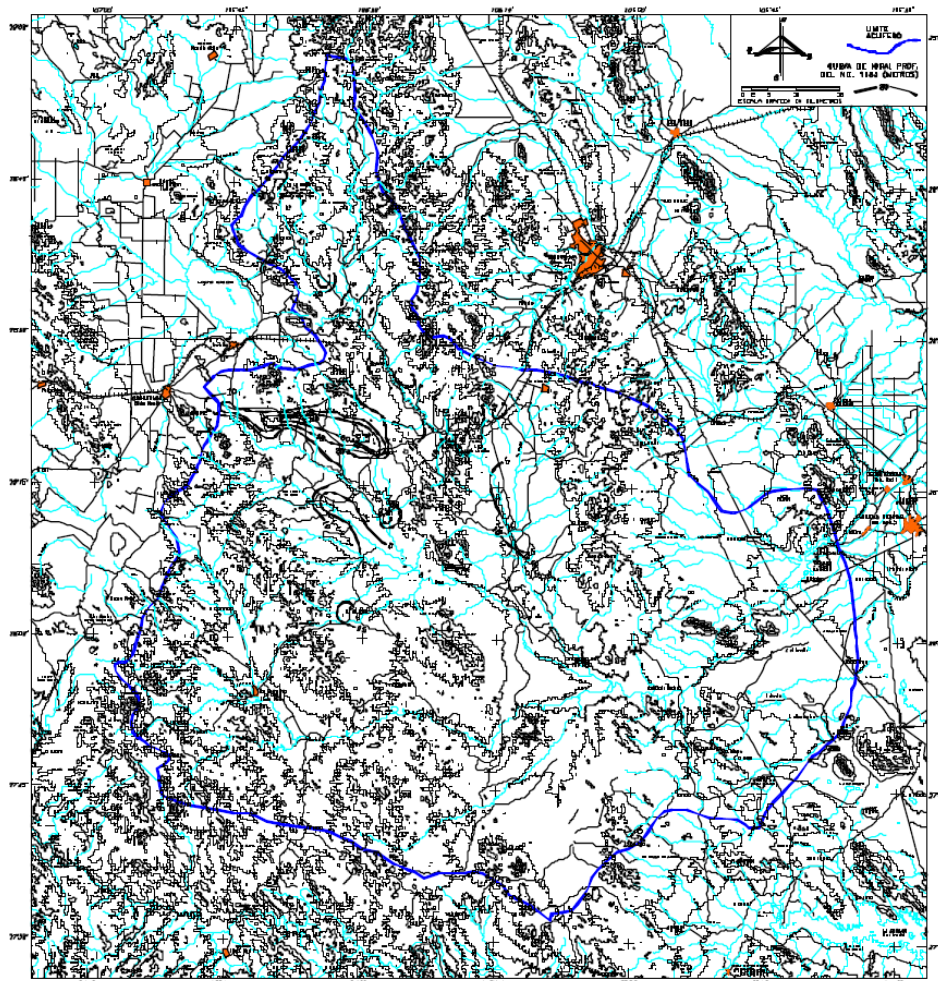


Figura 1.1.46. Profundidad del nivel estático, 1985 (CONAGUA, 2002)

1.17.4.3 Elevación del nivel estático

La elevación del nivel estático con respecto al nivel del mar, en el extremo norte del acuífero en 1985 fue de 2,120 msnm, en el extremo oeste del acuífero el nivel estático se registró una elevación de 1,820 msnm y al sur del acuífero la elevación del nivel estático fue de 1,680 msnm. En general, el flujo subterráneo se dirige hacia el centro oriental del acuífero, siguiendo una dirección congruente con las trayectorias de los diversos arroyos y ríos (Figura 1.1.47).

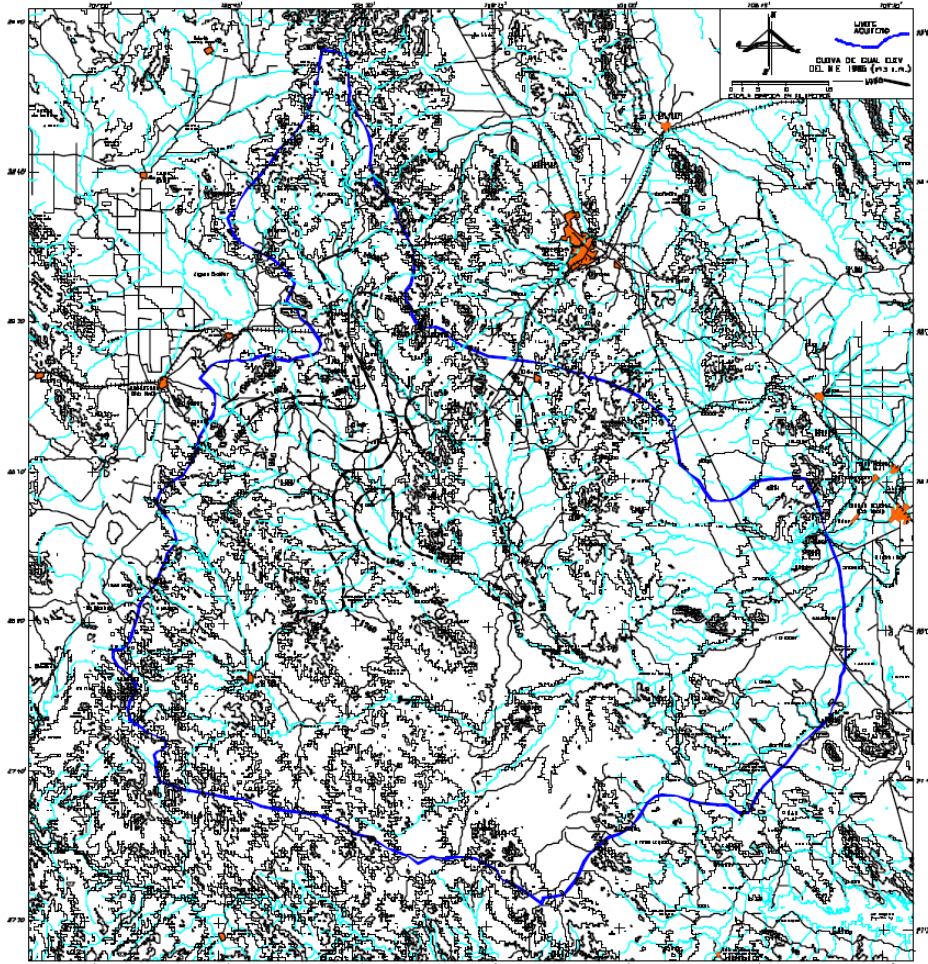


Figura 1.1.47. Elevación del nivel estático, 1985 (CONAGUA, 2002)

1.18 ÁREA METROPOLITANA DE MONTERREY

1.18.1 INFORMACIÓN GENERAL

El acuífero Área Metropolitana de Monterrey, clave 1906, se localiza en la porción centro-occidental del Estado de Nuevo León, cubre una extensión de 905 Km². El acuífero abarca en su porción suroeste, parte del Área Natural Protegida Cumbres de Monterrey.

1.18.2 FISIOGRAFÍA

El acuífero Área Metropolitana de Monterrey está ubicado en los límites entre la Provincia Fisiográfica Llanura Costera del Golfo Norte y la Sierra Madre Oriental.

1.18.3 GEOLOGÍA

En el área que nos ocupa las rocas descritas van del Jurásico Superior al Reciente, teniendo mayor importancia para los objetivos del trabajo, las del Cretácico Superior, Terciario y Cuaternario.

1.18.3.1 Geología del subsuelo

El acuífero está constituido por materiales granulares conformados por gravas, arenas, limos y arcillas de origen aluvial, fluvial y lacustre, por conglomerados, así como por lutitas alteradas y facturadas. La permeabilidad del acuífero en general es baja, por lo que la velocidad del movimiento del agua subterránea y la producción de los pozos son reducidas; el basamento está conformado por lutitas sin alterar y sin fracturar.

1.18.4 HIDROGEOLOGÍA

El sistema acuífero de Monterrey funciona como un acuífero libre. El sistema de flujo de las aguas subterráneas, es en general, de poniente a oriente, donde se observa que las corrientes controlan el flujo aportando o recibiendo agua del acuífero. Al poniente del poblado de Santa Catarina el río aporta agua al acuífero y a partir del Parque Fundidora hasta su salida en el extremo suroriente de la zona de estudio, funciona como un dren del acuífero.

Los valores obtenidos para conductividad hidráulica en el acuífero superior definido por el aluvión oscilan entre 101 a 103 m/día, su anisotropía se manejó con la conductividad hidráulica horizontal un orden de magnitud mayor a la vertical, lo cual fue satisfactorio. Por su parte el rendimiento específico va de 0.05 a 0.26, y lo que respecta al coeficiente de almacenamiento 10^{-7} a 4.85×10^{-6} m⁻¹ (CONAGUA, 2002).

1.18.4.1 Profundidad del nivel estático

En general los niveles estáticos son poco profundos, sin embargo se aprecia una zona de manantiales donde la profundidad varía de 0 a 5 m en la parte norte entre la población de Apodaca y el Río Pesquería.

1.18.4.2 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

Los valores promedio de conductividad eléctrica oscilan entre los 869.88 en el municipio de Garza García y 3,960 mmhos en el municipio de Escobedo. La alcalinidad en los municipios que comprenden el acuífero varía entre 291 y 339 mg de CaCO₃.

1.19 BOCOYNA

1.19.1 INFORMACIÓN GENERAL

El acuífero Bocoyna, clave 0843, se localiza en la porción sur del estado de Chihuahua, y abarca un área de 7,336 Km² abarcando en su totalidad el Municipio de El Tule y la mayor parte del Municipio de Balleza, y en menor proporción los municipios de Rosario, Huejotitán, San Francisco del Oro y Nonoava, en el Estado de Chihuahua. Así mismo, abarca pequeñas porciones de los municipios de Ocampo y Guanaceví, en el Estado de Durango. Administrativamente corresponde a la Región Hidrológico-Administrativa Río Bravo.

1.19.2 FISIOGRAFÍA

El acuífero Bocoyna, se encuentra ubicado dentro de la Provincia Fisiográfica Sierra Madre Occidental, la porción nororiental en la Subprovincia Fisiográfica Sierras y Llanuras de Durango y la superficie restante en la Subprovincia Fisiográfica Gran Meseta y Cañones Chihuahuenses.

1.19.3 GEOLOGÍA

En la región en la que se ubica el acuífero Bocoyna, se muestran rocas extrusivas de tipo andesítico, relacionadas con la primera fase volcánica que dio origen a la Sierra Madre Occidental, que sobreyacen discordantemente a las rocas sedimentarias Cretácicas, que a su vez subyacen discordantemente a tobas del Oligoceno-Mioceno y a rocas sedimentarias del Terciario. Se observaron secuencias volcano-sedimentarias que subyacen a las rocas denominadas Complejo Volcánico Superior. La segunda fase volcánica la representan tobas de composición riódacítica y riolítica con intercalación de volcanoclásticos, así como riolita del Oligoceno Mioceno que en ocasiones extruyeron a través de fracturas; estas unidades sobreyacen en discordancia a las rocas del Complejo Volcánico Inferior Mc Dowell y Clabaugh.

La andesita post-miocénica sobreyace concordantemente a las unidades ácidas y subyace al basalto, el cual es el representativo de las últimas manifestaciones volcánicas; esta unidad sobreyace también discordantemente a rocas ígneas, así como a unidades Cretácicas y subyace a rocas y sedimentos del Pliocuatnario.

Contemporánea o posterior a las manifestaciones volcánicas que dieron origen a la Sierra Madre Occidental, ocurre el depósito de sedimentos clásticos en facies continentales representados por areniscas y conglomerados, que rellenan antiguas cuencas continentales, sobreyacen en forma discordante a las rocas del Cretácico y subyacen a rocas extrusivas volcánicas de tipo ácido e intermedio y a depósitos del Terciario Superior. Para este mismo tiempo las condiciones iniciales fueron de relleno de cuenca formada por areniscas y conglomerados y posteriormente lacustres, evidenciados por el depósito de caliza continental, limolita y lutita, esta secuencia es discordante con las unidades Cretácicas. Para el Cuaternario se deposita material clástico no consolidado en los pequeños valles aluviales.

1.19.4 HIDROGEOLOGÍA

Las evidencias geológicas, geofísicas e hidrogeológicas permiten definir la presencia de un acuífero tipo libre heterogéneo y anisótropo, constituido en su porción superior, por sedimentos aluviales de granulometría variada y conglomerados, cuyo espesor puede alcanzar algunas decenas de metros en el centro del valle. La porción inferior se aloja en una secuencia de rocas volcánicas entre las que destacan las tobas ácidas, riolitas e ignimbritas y en menor proporción basaltos, que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento.

A mayor profundidad, las rocas calizas y areniscas representan un acuífero con características confinantes cuyo potencial aún no ha sido explorado, pero que puede ser escaso, debido a que estas rocas solo se presentan en pequeños afloramientos en la porción suroriental del acuífero.

1.20 CABRERA - OCAMPO

1.20.1 INFORMACIÓN GENERAL

El acuífero Cabrera-Ocampo, clave 1008, se localiza en la porción noroccidental del Estado de Durango, cubre una superficie de 1,689 Km²; y comprende parcialmente al Municipio de Ocampo y pequeñas porciones de los municipios de San Bernardo, El Oro e Indé. Administrativamente corresponde a la Región Hidrológico-Administrativa Cuencas Centrales del Norte.

1.20.2 FISIOGRAFÍA

El acuífero Cabrera-Ocampo, se encuentra ubicado dentro de la Provincia Fisiográfica Sierra Madre Occidental, abarcando parte de la Subprovincia Sierras y Llanuras de Durango. Una muy pequeña área de su porción oriental se ubica en la Provincia Fisiográfica Sierras y Llanuras del Norte, abarcando parte de la Subprovincia Bolsón de Mapimí.

1.20.3 GEOLOGÍA

En la región en la que se ubica el acuífero Cabrera-Ocampo, clave 1008, afloran rocas volcánicas, metamórficas y sedimentarias, cuyo registro estratigráfico comprende del Paleozoico al Reciente.

La unidad más antigua que se conoce en el área está representada por la Formación Gran Tesoro, las rocas de esta unidad están compuestas por una alternancia de micaesquistos, metalavas y calizas, que fueron definidas formalmente en la localidad de

Santa María del Oro que aflora en el extremo nororiental del acuífero.

Los afloramientos que predominan en el acuífero pertenecen al Supergrupo Volcánico Superior del Oligoceno-Mioceno, que está caracterizado por rocas volcánicas ácidas, tales como tobas riolíticas, riolitas, brechas riolíticas e ignimbritas. Esta unidad se presenta con afloramientos ampliamente distribuidos dentro del acuífero Cabrera-Ocampo, clave 1008, principalmente hacia las porciones oriental y occidental.

Durante las últimas etapas del vulcanismo de la secuencia volcánica superior, se inicia la sedimentación de conglomerados

polimícticos, con el depósito de una unidad areno-tobácea con intercalaciones de conglomerado, que posteriormente se constituyen en conglomerados polimícticos que cubren discordantemente a las secuencias riolíticas, y contemporáneamente a este evento inicia el vulcanismo básico, que aparece intercalado en los conglomerados a los cuales finalmente cubre. Los basaltos se manifiestan en forma de una estructura volcánica.

En el Cuaternario, se depositaron los sedimentos areno-arcillosos de poco espesor, originados por la sedimentación de clastos arcillosos en las márgenes de los arroyos, formando planicies de inundación, finalmente producto de la erosión de las unidades preexistentes que depositan arenas y gravas mal clasificadas en los cauces de los arroyos, que son depositados por las corrientes fluviales de ríos y arroyos.

Afectando a todas las unidades que afloran en el área, se presenta un fallamiento normal con direcciones preferenciales noroeste y echados noreste, con fallas menores asociadas de rumbo noreste-suroeste. Las fallas normales forman un conjunto de fosas y pilares, orientados norte-noroeste y paralelos entre sí. Otro sistema menor de fallamiento, burdamente perpendicular al sistema noroeste-sureste, tiene dirección noreste con algunas fallas que delimitan al norte y al sur a las fosas o bajos estructurales formados por las fallas noroeste-sureste.

1.20.4 HIDROGEOLOGÍA

La información de la geología superficial y del subsuelo permite definir la presencia de un acuífero libre, de propiedades hidráulicas muy variables, en el que el agua subterránea se desplaza principalmente en un medio poroso constituido por materiales clásticos aluviales de granulometría diversa y en menor proporción conglomerados, de permeabilidad media, que constituyen el cauce y la llanura de inundación del Río Florido y arroyos tributarios, depositados en fosas tectónicas escalonadas limitadas por pilares conformados por rocas

volcánicas de composición ácida, que incluyen ignimbritas, riolitas y tobas, así como rocas intrusivas y sedimentarias calcáreo-arcillosas. El espesor de los depósitos sedimentarios es de algunas centenas de metros en el centro del valle y disminuye gradualmente hacia los flancos. Esta es la unidad que se explota actualmente para satisfacer las necesidades de agua de la región.

1.20.4.1 Parámetros hidráulicos

En las pruebas de bombeo se registraron valores de transmisividad de 2.93×10^{-3} m²/s y 8.34×10^{-4} m/s en el abatimiento. En la etapa de recuperación se registraron valores de 4.11×10^{-3} m²/s y 9.15×10^{-4} m/s.

1.20.4.2 Profundidad del nivel estático

En el año 2010, la profundidad al nivel de saturación, medida desde la superficie del terreno, variaba desde 2 m a lo largo de los principales escurrimientos y arroyos tributarios, hasta los 60 m, aumentando gradualmente hacia las estribaciones de las sierras que delimitan el acuífero conforme se asciende topográficamente (Figura 1.1.48).

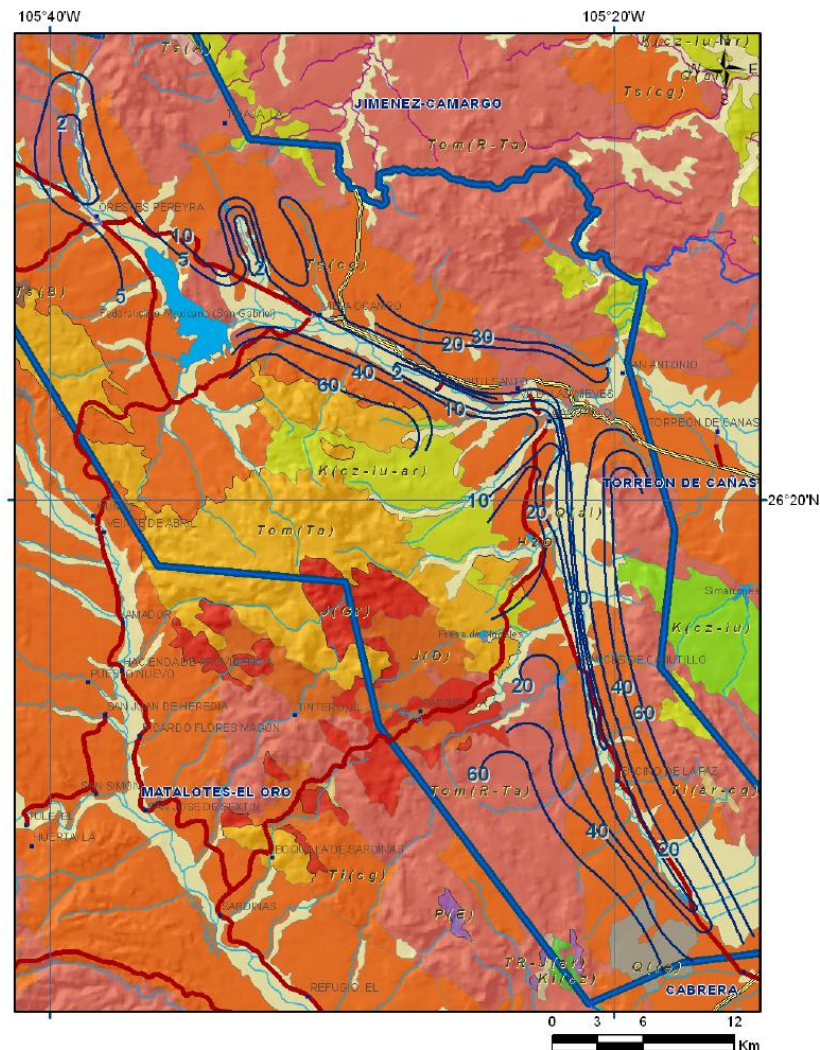


Figura 1.1.48. Profundidad al nivel estático (m), 2010

1.20.4.3 Elevación del nivel estático

La cota de elevación del nivel de saturación del agua subterránea, referido al nivel del mar, para el año 2010 variaba de 1,690 a 1,890 msnm, mostrando el reflejo de la topografía (Figura 1.1.49).

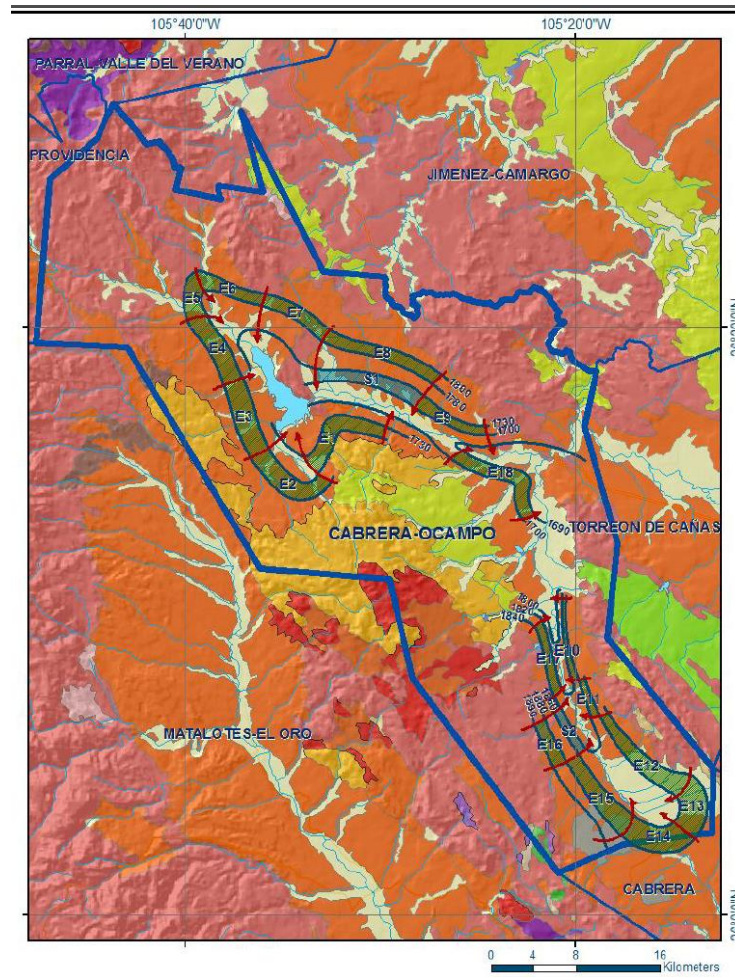


Figura 1.1.49. Elevación al nivel estático (m), 2010

1.20.4.4 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

De manera general, el agua subterránea es de salinidad media, predominantemente bicarbonatada-cálcica, que corresponde a agua de reciente infiltración que ha circulado principalmente a través de rocas sedimentarias y volcánicas, por lo que las concentraciones de los diferentes iones y elementos no sobrepasan los límites máximos permisibles que establece la "Modificación de la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental. Agua para usos y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización"

La concentración de sólidos totales disueltos presenta valores que varían de 138 a 240 mg/L, por lo que no sobrepasan el límite máximo permisible de 1,000 mg/L establecido en la referida Norma Oficial Mexicana. Las menores concentraciones de sólidos totales disueltos se presentan en los aprovechamientos ubicados hacia las partes topográficamente más altas, situadas en los extremos norte y sur del acuífero, mientras que las mayores se registran en la porción central, reflejando de esta manera las direcciones preferenciales del flujo subterráneo.

De acuerdo con el criterio de Wilcox, que relaciona la conductividad eléctrica con la Relación de Adsorción de Sodio, el agua extraída se clasifica como de salinidad media y contenido bajo de sodio intercambiable, lo que indica que es apropiada para su uso en riego sin restricciones.

1.21 CAMPO BUENOS AIRES

1.21.1 INFORMACIÓN GENERAL

El acuífero Campo Buenos Aires se localiza en la porción oeste del Estado de Nuevo León, al sur de la Ciudad de Monterrey, dentro del complejo montañoso de la Sierra Madre Oriental. Colinda al norte con los acuíferos Área Metropolitana de Monterrey y Campo Durazno, al oriente con los acuíferos Cañón del Huajuco y Cítricola Norte y al occidente con el acuífero Saltillo Ramos-Arizpe, Estado de Coahuila.

1.21.2 FISIOGRAFÍA

El área se localiza dentro de la Provincia Fisiográfica denominada Sierra Madre Oriental. Las características fisiográficas y geomorfológicas regionales del relieve, de marcados contrastes entre los altos montañosos de las serranías y cordilleras y las amplias planicies y valles, son el reflejo del patrón geológico-estructural, originado por plegamientos de compresión sufridos por las rocas sedimentarias de la región conformadas por series y unidades de gran espesor de lutitas, calizas y areniscas.

1.21.3 GEOLOGÍA

Las unidades litoestratigráficas presentes en el área se pueden agrupar en tres grandes conjuntos: el primero de ellos se caracteriza por depósitos marinos de influencia calcárea con un alcance estratigráfico desde el Jurásico Superior hasta la parte basal del Cretácico Superior (Cenomaniano-Turoniano); el segundo, de naturaleza marina más bien clásica alcanza hasta el Paleoceno; y el tercero corresponde a depósitos de naturaleza continental de edad Terciaria y Cuaternaria.

1.21.3.1 Geología del subsuelo

La estratigrafía de las formaciones que se encuentran en el sistema de producción del acuífero Campo Buenos Aires, son rocas sedimentarias marinas cuyas características hidráulicas propician las condiciones para la existencia de 3 principales unidades acuíferas, que son:

Unidades acuíferas del Cretácico.- Es el acuífero más importante en producción, está conformado por las calizas de las formaciones Cupido, Aurora y Cuesta del Cura, del Cretácico Inferior. Estas se encuentran confinadas por rocas impermeables del Cretácico Superior, por la Formación Indidura que cubre conjuntamente con el aluvión de la edad

reciente los horizontes superficiales del acuífero y por otra parte, se encuentra sobrepuesto a las rocas impermeables de la Formación Taraises de edad Cretácico Inferior y La Casita de edad jurásica.

Unidad acuífera en el Aluvión.- Está conformado por gravas y arenas depositadas en los valles que forman los lechos de las corrientes del Río Santa Catarina. Esta unidad se aprovecha mediante las galerías Huasteca y Morteros, que captan el agua y la conducen por gravedad hasta el tanque Obispado, además, se explota mediante pozos someros.

Unidad acuífera del Jurásico.- Localizado en el núcleo de los anticlinales erosionados cuyos afloramientos son de las calizas de la Formación Zuloaga y cuyas características geohidrológicas manifiestan una interrelación con el aluvión. Esta unidad acuífera se explota mediante los pozos número 25, 28, 33 y 39, cuyas cotas de brocal varían de 721 a 747 msnm.

1.21.4 HIDROGEOLOGÍA

Estudios geohidrológicos para la cuantificación de la recarga con base en la lámina de lluvia, han determinado que el área de calizas acuíferas que afloran en las partes altas y que constituyen las zonas de alimentación y recarga, funcionando como un acuífero libre de captación, tiene un área estimada de 450 Km² y que la infiltración del agua de lluvia se conduce a la porción donde las calizas de encuentran confinadas por la formación impermeables superiores e inferiores formando el acuífero a presión del Campo Buenos Aires.

1.21.4.1 Parámetros hidráulicos

Los estudios realizados en este acuífero no aportan valores concretos de transmisividad, en 1968 se estimó un valor de $T = 1.8 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ (155 m²/día).

1.21.4.2 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

De manera general, el agua subterránea es de salinidad media, predominantemente bicarbonatada-cálcica, que corresponde a agua de reciente infiltración que ha circulado principalmente a través de rocas sedimentarias y volcánicas, por lo que las concentraciones de los diferentes iones y elementos no sobrepasan los límites máximos permisibles que establece la "Modificación de la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental. Agua para usos y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización"

La concentración de sólidos totales disueltos presenta valores que varían de 138 a 240 mg/L, por lo que no sobrepasan el límite máximo permisible de 1,000 mg/L establecido en la referida Norma Oficial Mexicana. Las menores concentraciones de sólidos totales disueltos se presentan en los aprovechamientos ubicados hacia las partes topográficamente más altas, situadas en los extremos norte y sur del acuífero, mientras que

las mayores se registran en la porción central, reflejando de esta manera las direcciones preferenciales del flujo subterráneo.

De acuerdo con el criterio de Wilcox, que relaciona la conductividad eléctrica con la Relación de Adsorción de Sodio, el agua extraída se clasifica como de salinidad media y contenido bajo de sodio intercambiable, lo que indica que es apropiada para su uso en riego sin restricciones.

1.22 CAMPO CERRITOS

1.22.1 INFORMACIÓN GENERAL

El acuífero Campo Cerritos, clave 1919, se ubica en la porción noroeste del Estado de Nuevo León. El acuífero tiene una extensión territorial de 103 Km², comprende parcialmente al Municipio de Salinas Victoria, al Municipio Lampazos de Higuera, Municipio de General Zuazua, y al Municipio de Ciénega de Flores. Administrativamente el acuífero corresponde a la Región Hidrológico-Administrativa Río Bravo.

1.22.2 FISIOGRAFÍA

Fisiográficamente la superficie del acuífero Campo Cerritos, se ubica en el límite nororiental de la Provincia Sierra Madre Oriental.

1.22.3 GEOLOGÍA

Litológicamente la superficie del acuífero Campo Cerritos, está constituida principalmente por rocas sedimentarias que varían en edad del Cretácico al Cuaternario, con un gran predominio de las rocas cretácicas en la Sierra de Mamulique y Cerritos, destacando las rocas calizas y alternancias de calizas-lutitas. En el valle del acuífero predominan conglomerados del Terciario y material aluvial a lo largo de los cauces.

Las estructuras más significativas que se generaron en la región son pliegues simétricos y asimétricos con ejes orientados preferentemente noroeste-sureste, asociadas a estos pliegues se desarrollaron cabalgaduras cortas paralelas a los ejes de los pliegues. La deformación frágil está representada por fallas de desplazamiento lateral y normal, con direcciones generales noroeste-sureste, aunque directamente sobre la Sierra de Mamulique no se han detectado este tipo de fallas.

1.22.3.1 Geología del subsuelo

El acuífero Campo Cerritos, está conformado principalmente por un medio fracturado y con oquedades de disolución, altamente heterogéneo y anisotrópico, constituido por las rocas calcáreas del Cretácico y, en menor medida, por un medio granular conformado por sedimentos de origen aluvial o fluvial que sobreyace al medio fracturado.

1.22.4 HIDROGEOLOGÍA

La recarga del acuífero ocurre principalmente por infiltración directa de la lluvia en las partes altas de las sierras. En el norte de Nuevo León el carácter de estas formaciones calcáreas es regional en el subsuelo, por lo que es probable que a profundidad exista comunicación y también se pueda tener recarga de sitios más alejados, donde existen características litológicas y estructurales similares.

El agua subterránea fluye de forma irregular a través del fracturamiento y de los conductos cársticos, en función de las estructuras geológicas. Las descargas del acuífero ocurren mediante salidas horizontales, manantiales, y la principal salida del acuífero ocurre a través del bombeo de pozos en explotación, principalmente en la parte central del acuífero.

1.22.4.1 Profundidad del nivel estático

La profundidad al nivel estático, medida desde la superficie del terreno, en el acuífero Campo Cerritos, varía de 7.4 a 98 m; los niveles más someros se presentan en los pozos más profundos, mientras que los pozos que resultaron con buenos gastos y los menos profundos, presentaron una profundidad al nivel estático que varía de 15 a 32 m.

1.22.4.2 Elevación del nivel estático

La elevación del nivel estático en el acuífero Campo Cerritos, varía de 404 a 479 msnm. La elevación del nivel medida en estos pozos, no representa el comportamiento del acuífero en una forma más regional, ni siquiera a nivel de las sierras contiguas.

1.22.4.3 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

En el agua subterránea del acuífero Campo Cerritos, las concentraciones de sólidos disueltos totales varían de 588 a 857 mg/L. Las concentraciones de sulfato varían de 83 a 208 mg/L, lo cual indica que su concentración es realmente baja. El calcio en el acuífero se encontró en concentraciones que varían de 261.5 a 466 mg/L. El sodio se presentó en concentraciones de 31.3 a 104.4 mg/L, lo cual significa que este Parámetro presenta bajas concentraciones. Los cloruros se encontraron en concentraciones que varían de 71 a 191.7 mg/L, es decir, valores bajos, por lo que la concentración de los distintos iones se encuentra dentro de los límites máximos permisibles establecidos en la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994.

1.23 CAMPO DURAZNO

1.23.1 INFORMACIÓN GENERAL

El acuífero Campo Durazno, clave 1909, se localiza al oeste del Área Metropolitana de Monterrey, cubre un área de 928 Km² y abarca casi en su totalidad el Municipio de García, además de algunas porciones de los Municipios de Santa Catarina, General Escobedo y Monterrey del Estado de Nuevo León.

1.23.2 FISIOGRAFÍA

El acuífero Campo Durazno fisiográficamente está comprendido en la porción sur de la Provincia Región Montañosa de Coahuila, parte oriental de la provincia Cuenca de Parras y estribación norte de la provincia Sierra Madre Oriental.

1.23.3 GEOLOGÍA

La columna estratigráfica que aflora en el área de estudio representa un intervalo geológico del Jurásico superior al reciente.

La secuencia Mesozoica se inicia con el depósito de yesos, anhidrita y calizas en un medio lagunar de circulación restringida, continua con el depósito de areniscas, lutitas y calizas en un medio reductor de aguas estancadas, de poca profundidad; le siguieron calizas depositadas en aguas cálidas y transparentes, que generaron los bancos de rocas

arrecifales y periarrecifales, casi sin materiales terrígenos en ambientes tanto cercanos como alejados de la costa, constituidos por una alternancia de areniscas y lutitas.

Ya en el terciario y Cuaternario, el área se encuentra emergida y expuesta a los agentes erosivos, completándose esta función con el transporte y depósito de materiales aluviales hacia las áreas bajas y la consecuente acumulación que a la fecha suma espesores promedio de 20 m.

Las estructuras que se encuentran en el área son consecuencia de los efectos orogénicos de la Revolución Laramide, ocurrida a fines del Cretácico y a principios del Terciario.

Esta orogenia plegó intensamente los sedimentos marinos del Cretácico y Jurásico mediante efectos compresionales del Sur, ocasionando que la mayoría de los anticlinales y sinclinales formados sufrieran recostamiento hacia el Norte y adoptaran una dirección predominante E a W.

Con las evidencias observadas se infiere que el origen de los plegamientos estuvo influenciado también por la intrusión de cuerpos salinos presentes en algunas estructuras.

1.23.3.1 Geología del subsuelo

El acuífero Campo Durazno está integrado por depósitos granulares constituidos por gravas, arenas, limos y arcillas en la zona del valle, por la alternancia de lutitas calcáreas y areniscas que debido a sus características litológicas y su fracturamiento se consideran permeables, así como por calizas fracturadas y con estructuras de disolución, que aportan la mayor parte del volumen de agua subterránea en la zona.

1.23.4 HIDROGEOLOGÍA

En la zona existen tres unidades geohidrológicas o tipos de acuífero, el primero, de tipo libre lo constituyen los depósitos granulares que se extiende por todo el valle y la parte alterada de las rocas sedimentarias que lo subyacen. El segundo está constituido por una alternancia de lutitas calcáreas y areniscas de la formación Difunta. Finalmente la tercera unidad emplazada en rocas fracturadas del Cretácico inferior y que aporta la mayor parte del volumen de agua subterránea en la zona.

La porción del acuífero conformada por el material aluvial y en la zona de alteración de las rocas sedimentarias es de reducida permeabilidad, por lo que el movimiento del agua subterránea y la producción de los pozos son limitados. Mientras que la porción del acuífero conformado en zonas de disolución de las calizas son de muy elevada permeabilidad, por lo que se favorece la infiltración y el movimiento del agua subterránea y los aprovechamientos ubicados en estas rocas extraen los mayores caudales de la zona, aunque los abatimientos generados por el bombeo son considerables.

1.23.4.1 Profundidad del nivel estático

La profundidad al nivel de saturación del agua subterránea, medida desde la superficie del terreno, varía de 10 a 30 m en la porción nororiental y al sur varía de 10 a 65 m.

1.23.4.2 Elevación del nivel estático

La cota de elevación del nivel de saturación medida a partir del nivel medio del mar, varía de 715 msnm en la porción occidental, a 520 msnm hacia el oriente. Por lo que se infiere

que la dirección de flujo del agua subterránea es de occidente a oriente, siguiendo el curso del Río Pesquería.

1.23.4.3 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

El agua del acuífero El Durazno por lo general es bicarbonatada cálcica.

1.24 CAMPO JARITAS

1.24.1 INFORMACIÓN GENERAL

El acuífero Campo Jaritas, clave 1918, se ubica en la porción noroeste del Estado de Nuevo León, cubre una extensión territorial de 394 Km², y abarca parcialmente al Municipio de Mina y el Municipio de Salinas Victoria. Administrativamente corresponde a la Región Hidrológico-Administrativa Río Bravo.

1.24.2 FISIOGRAFÍA

Fisiográficamente la superficie del acuífero Campo Jaritas, se ubica en la Provincia Sierra Madre Oriental, en la Subprovincia Sierras del Norte, en la parte central de la provincia, unos 60 Km al norte de la Subprovincia de Sierras Transversales y de la Zona Metropolitana de Monterrey.

1.24.3 GEOLOGÍA

Litológicamente la zona del acuífero Campo Jaritas, está constituida principalmente por rocas sedimentarias que varían en edad del Jurásico al Cuaternario, con un gran predominio de rocas de edad cretácica en las sierras que circundan la zona, destacando las rocas calizas y alternancias de calizas-lutitas y calizas arcillosas. En el valle del acuífero predominan conglomerados del Terciario y material aluvial a lo largo de los cauces.

1.24.4 HIDROGEOLOGÍA

El acuífero Campo Jaritas, está integrado por un medio granular constituido por el material aluvial y un medio fracturado conformado por rocas sedimentarias. El acuífero puede dividirse en tres unidades, la primera y la más superficial, de tipo granular que funciona como acuífero libre, con espesores del orden de los 25 m y es de bajo potencial geohidrológico; la segunda unidad es del tipo fracturado que se presenta en lutitas y areniscas del Grupo Difunta que se aprovecha en conjunto con el acuífero granular y es de potencial bajo; y la tercera, en la zona existen algunas formaciones de caliza y lutita y calizas, como en las formaciones Cupido y Aurora, constituidas de calizas y la Formación Austin constituida por lutitas y calizas, que pueden tener de bajo hasta muy alto potencial geohidrológico.

1.24.4.1 Profundidad y elevación del nivel estático

La profundidad al nivel estático varía en el área entre los 15 y 45 m, con valores más bajos en la zona sur; en San Francisco con profundidades entre 15 y 25 m. En la zona Los Remotos se presentaron los valores más altos de profundidad al nivel estático entre 25 y 40 m, con tendencia a disminuir hacia el norte.

1.24.4.2 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

El análisis de la calidad del agua del acuífero Campo Jaritas, se definió mediante los resultados de mediciones realizadas en el año 2011. Las concentraciones de sólidos totales

disueltos varían de 524 a 3,623 mg/L, por lo que rebasa el límite máximo permisible establecido en la NOM-127-SSA1-1994, por lo que para uso público urbano requeriría del tratamiento adecuado para su potabilización.

El contenido de nitratos, en la zona de estudio se encontró en concentraciones de 0 a 7.4 mg/L, por lo que no rebasa la norma referida. En cuanto a la presencia de sodio, la norma establece concentraciones de 200 mg/L, ya que valores superiores pueden dar lugar a un sabor inaceptable; en la zona de estudio, las concentraciones de sodio varían de 54 a 298 mg/L; en general los valores no rebasan el límite establecido por la citada Norma, y en aquellos casos en los que sí rebasa el límite, requerirán tratamiento de potabilización.

La mayor salinidad del agua subterránea se presenta en la porción este de la zona Los Remotos, en un pozo que muestra una conductividad eléctrica anómala con un dato puntual de 4,050 $\mu\text{S}/\text{m}$, esto es, agua clasificada como de salinidad alta, no apropiada para el consumo humano y no apropiada en condiciones ordinarias para el riego. El resto de las muestras obtenidas para el estudio se encuentran en la clasificación de salinidad media, no apropiada para el consumo humano, pero apta para el riego con el manejo adecuado.

1.25 CAMPO MINA

1.25.1 INFORMACIÓN GENERAL

El acuífero Campo Mina, clave 1908, se localiza a unos 36 Km al NW de la ciudad de Monterrey, capital del estado de Nuevo León, a la altura del Km 40 de la carretera federal No. 53 Monterrey-Monclova. Limita al norte con el Campo Jaritas, al este con El Carmen-Salinas Victoria, al oeste con Paredón y al sur con el acuífero Campo Durazno.

1.25.2 FISIOGRAFÍA

El acuífero Campo Mina pertenece a la provincia fisiográfica Sierra Madre Oriental, subprovincia Sierras y Llanuras Coahuilenses. La región NE de Monterrey se caracteriza por la presencia de serranías aisladas, algunas de ellas en forma alargada y otras en forma cóncava, que son plegamientos anticlinales que se clavan en los extremos de sus ejes longitudinales. Este tipo de estructuras se originó por efectos combinados de esfuerzos de compresión lateral.

1.25.3 GEOLOGÍA

El perfil geológico en la zona de los pozos, presenta afloramientos de aluvión y conglomerados del Terciario Superior y de las formaciones Parras, Difunta e Indidura del Cretácico Superior. Subyaciendo a estas unidades litológicas aparecen rocas de la formación Cuesta de Cura y Kiamichi, también del Cretácico Superior, parcialmente confinantes. En este campo de pozos Mina estas formaciones confinantes tienen espesores que van de 200 a 400 m.

Siguen las formaciones del Cretácico Inferior que constituyen el sistema de acuíferos, esto es, Formación La Aurora y Formación Cupido, apenas separadas por La Peña, de poco espesor, variable entre 30 y 60 m y que en general no debe considerarse como un estrato confinante. Tanto la Aurora como la Cupido son calizas afectadas por canales de disolución y fracturamiento, que les confiere una permeabilidad alta. La Formación Aurora tiene espesores de 300 m en la zona del acuífero y el espesor promedio del conjunto formado

por estas tres formaciones en el área es de alrededor de 1050 m, variando entre unos 700 m en la sierra Picachos a 1,570 m en la sierra de Minas Viejas.

Subyaciendo a La Formación Aurora se localiza la Formación Taraises, también del Cretácico Inferior, que funciona como confinante inferior junto con la Formación La Casita del Jurásico.

También del Jurásico son de citar las calizas Zuloaga y la Formación Minas Viejas, que contienen acuíferos pero con agua de mala calidad. Se estima que su potencial es muy pequeño y no vale la pena su explotación.

1.25.4 HIDROGEOLOGÍA

El acuífero explotado por los pozos de Mina funciona como confinado, aunque en ocasiones también funciona como freático o libre en las zonas de recarga, y no se descarta algún semiconfinamiento originado por los estratos superiores más o menos impermeables que descansan sobre la Formación Aurora.

1.25.4.1 Parámetros hidráulicos

Los valores reportados de transmisividad varían entre 20 y 4,950 m²/día, siendo el promedio de 977 m²/día. De acuerdo al estudio reportado por CONAGUA dicho Parámetro fue el único posible de determinar.

En el estudio de 1967, se reportan valores generales de las propiedades hidrodinámicas: de 285 m²/día para la transmisividad y un coeficiente de almacenamiento variable entre 0.01 y 0.05. Estos valores también fueron estimados por otros métodos, llegando a una transmisividad de 155.5 m²/día, semejante a la anterior, y un coeficiente de almacenamiento comprendido entre 0.00066 y 0.0013, valores que representan acuíferos confinados.

El rendimiento específico de los pozos está entre 0.3 y 75 lps/m

1.25.4.2 Profundidad del nivel estático

De acuerdo con la información del estudio de actualización de las condiciones piezométricas de varios campos de pozos, la profundidad de los niveles estáticos durante el período enero a noviembre de 1987 oscilan entre 40 y 110 m. Con variaciones hacia finales de año; el mes de enero la profundidad promedio de los niveles en 20 pozos que tienen registros, es del orden de 90 m, mientras que para noviembre, en los mismos pozos, la profundidad media de los niveles estáticos fue de 78 m. Para ese año la profundidad media del nivel estático fue de 78 m.

1.25.4.3 Elevación del nivel estático

El flujo de las aguas subterráneas es en general hacia el oriente, aflorando ocasionalmente en forma natural. En la Figura 1.1.50 se consigna una configuración que cubre una superficie amplia, y que da una idea de las direcciones que adopta el flujo subterráneo.

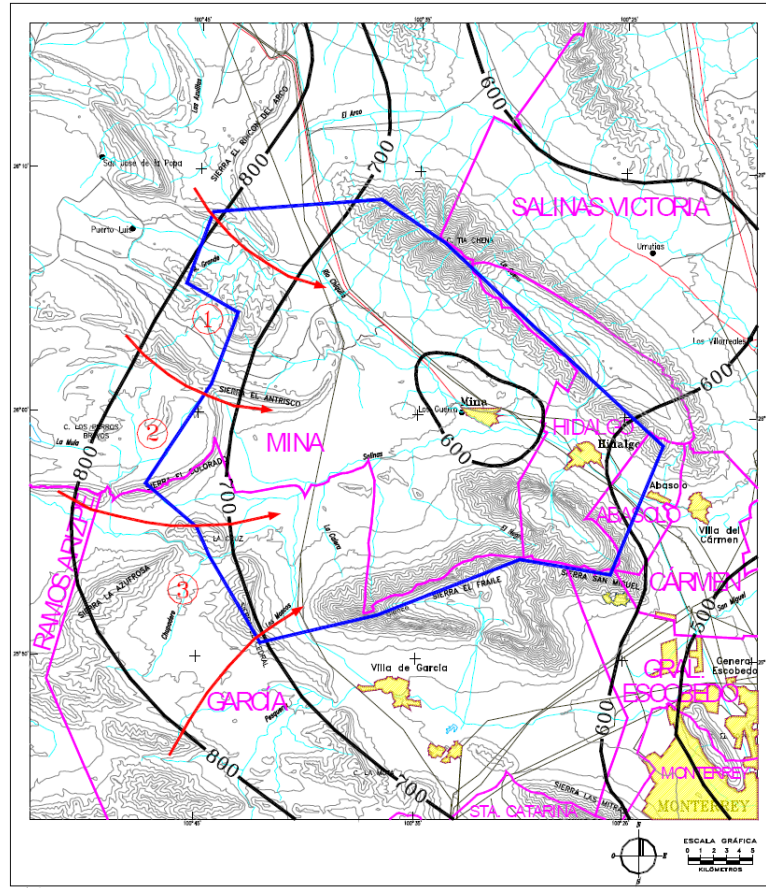


Figura 1.1.50. Elevación del nivel estático del acuífero Campo Mina, 1969

1.25.4.4 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

El último estudio realizado para la evaluación de calidad fue en 1967, el agua en aquel entonces se registró de excelente calidad para consumo humano. No se cuenta con información actual de la calidad del agua en el acuífero.

El agua subterránea del Campo Mina, en concordancia con el medio que las contiene, es decir, calizas, son de la familia cálcica bicarbonatada y/o sulfatada clorurada.

1.26 CAMPO PAPAGAYOS

1.26.1 INFORMACIÓN GENERAL

El acuífero Campo Papagayos, clave 1920, se ubica en la porción central del Estado de Nuevo León, con una extensión territorial de 152 Km² y comprende parcialmente al Municipio de Doctor González y al Municipio de Los Ramones. Administrativamente corresponde a la Región Hidrológico-Administrativa Río Bravo.

1.26.2 FISIOGRAFÍA

Fisiográficamente la superficie del acuífero Campo Papagayos, se ubica en la Provincia Llanura Costera del Golfo de México, en la Subprovincia de la Cuenca del Bravo, en su

límite occidental. En la parte más occidental del acuífero inicia la Provincia de la Sierra Madre Oriental.

1.26.3 GEOLOGÍA

Litológicamente la zona del acuífero Campo Papagayos, está constituida principalmente por rocas sedimentarias que varían en edad del Cretácico al Cuaternario, con un gran predominio de rocas de edad cretácica en las sierras, destacando las rocas calizas y alternancias de calizas-lutitas. La columna sedimentaria de origen marino se encuentra intrusionada por rocas de composición diorítica, al norte, fuera del área de estudio. En el valle predominan conglomerados del Terciario y material aluvial a lo largo de los cauces.

Las rocas más antiguas afloran en el Anticlinal Picachos, son del Cretácico Inferior y están constituidas por calizas en estratos medianos a masivos con estilolitas, nódulos de pedernal y nódulos de hematita, correspondientes a la Formación Cupido, de edad

Hauteriviano-Aptiano. El mayor espesor detectado en la zona, sin tocar su base, es de 245 m, perforado por el pozo Picacho número 6. Sobreyaciendo concordantemente aflora una secuencia constituida por caliza en estratos delgados, con horizontes de lutita-arenosa y abundantes fósiles, correspondientes a la Formación La Peña del Aptiano. El espesor de esta unidad en promedio es de 15 m.

En la Cañada El Fraile, al sur de la Sierra Picachos, aflora un cuerpo intrusivo de composición diorítica, que afecta a todas las unidades del Cretácico y principios del Terciario, que se relaciona al magmatismo del Oligoceno.

En el Plioceno, se depositó de forma discordante sobre toda la secuencia del Cretácico Superior-Terciario, una unidad constituida por clastos de arenisca, caliza y algunos aislados de rocas ígneas, redondeados, moderadamente clasificados y bien cementados en una matriz calcáreo-arcillosa de la Formación Reynosa.

En el Cuaternario, sólo se presentan depósitos aluviales constituidos por grava, boleos, limo y arcilla que rellenan los valles, como producto de la erosión de las rocas preexistentes.

1.26.4 HIDROGEOLOGÍA

El acuífero Campo Papagayos, formado por el anticlinal de Papagayos, que conforma la sierra de mismo nombre, se aloja principalmente en las calizas de origen marino del Cretácico que conforman la Formación Aurora y la Formación Cuesta del Cura, aunque puede haber aportaciones de otras formaciones y se le considera un acuífero de tipo local.

Las unidades litoestratigráficas que afloran en el área son las formaciones Cupido que se clasifica como Acuífera y con características de alta transmisividad, la Peña que se clasifica como un confinante local con espesores de 30 a 60 m, Aurora en la zona del Acuífero tiene espesores generalmente de 300 m, Cuesta del Cura, Agua Nueva y San Felipe pertenecientes al Cretácico Superior, se clasifica con características de confinante superior.

El hecho de clasificar al sistema de pozos Papagayos como un sistema hidrogeológico calcáreo local, implica necesariamente, que la longitud de su trayectoria de flujo es corta; por ello su área de recarga se ubicó en las zonas cercanas, especialmente en los afloramientos de la formación Aurora, en el flanco sur oeste de la Sierra de Los Ramones.

1.26.4.1 Parámetros hidráulicos

Por tratarse de un acuífero confinado en calizas cretácicas se ha estimado que el coeficiente de almacenamiento es del orden de 10^{-3} a 10^{-5} .

1.26.4.2 Niveles de agua subterránea

Es difícil conocer la profundidad al nivel dinámico, sólo se puede inferir de la información de la operación de los pozos, que el almacenamiento es limitado y no se renueva con la misma rapidez con que se extrae, de tal manera que los niveles, una vez suspendido el bombeo, no regresan a su estado original, por lo que es recomendable extraer únicamente un volumen similar a la recarga neta del acuífero.

1.26.4.3 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

El agua del acuífero Campo Papagayos, presenta una concentración de sólidos totales disueltos que varía de 75 a más de 2,000 mg/L. Las concentraciones de sulfatos varían de 20.8 a 1,258 mg/L. La dureza presenta concentraciones que varían de 330 a 1,367 mg/L y los contenidos de sodio varían de 16 a 464 mg/L.

La concentración de cloruros varía de 30.5 a 550 mg/L y las concentraciones de nitratos varían de 0.10 a 46.3 mg/L.

Con relación a la calidad del agua subterránea del acuífero Campo Papagayos, para uso público urbano, algunas muestras superan los límites máximos permisibles establecidos por la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994.

De acuerdo a la clasificación de Wilcox, para determinar la calidad del agua subterránea para riego, las muestras de agua en el acuífero Campo Papagayos, indican que en general existen aguas con alto a muy alto contenido salino, lo cual limita el uso del agua para fines agrícolas.

1.27 CAMPO TOPO CHICO

1.27.1 INFORMACIÓN GENERAL

El acuífero Campo Topo Chico, clave 1910, se localiza al Noroeste del Área Metropolitana de Monterrey, en el municipio de San Nicolás de los Garza, N. L, limita al norte con el acuífero El Carmen-Salinas Victoria, al sur y este con el Área Metropolitana de Monterrey y al oeste con el Campo Durazno.

1.27.2 FISIOGRAFÍA

La zona queda comprendida en la porción sur de la provincia Región Montañosa de Coahuila, parte oriental de la provincia Cuenca de Parras y estribación norte de la provincia de la Sierra Madre Oriental.

1.27.3 GEOLOGÍA

La columna estratigráfica que aflora en el área representa un intervalo geológico del Jurásico superior al reciente.

La secuencia Mesozoica se inicia con el depósito de yesos, anhidrita y calizas en un medio lagunar de circulación restringida, continua con el depósito de areniscas, lutitas y calizas en un medio reductor de aguas estancadas, de poca profundidad; le siguieron calizas depositadas en aguas cálidas y transparentes, que generaron los bancos de rocas

arrecifales y periarrecifales, casi sin materiales terrígenos en ambientes tanto cercanos como alejados de la costa, constituidos por una alternancia de areniscas y lutitas.

Ya en el terciario y Cuaternario, el área se encuentra emergida y expuesta a los agentes erosivos, completándose esta función con el transporte y depósito de materiales aluviales hacia las áreas bajas y la consecuente acumulación que a la fecha suma espesores promedio de 20 m.

1.27.4 HIDROGEOLOGÍA

El acuífero está conformado por las calizas de las formaciones Cupido y Aurora, del Cretácico Inferior. Este acuífero se encuentra confinado por rocas impermeables del Cretácico superior, por la Formación Indidura que cubre conjuntamente con el aluvión de la edad reciente los horizontes superficiales del acuífero y por otra parte, se encuentra sobrepuesto a las rocas impermeables de la Formación Taraises de la edad del Cretácico inferior y La Casita de edad Jurásica.

1.27.4.1 Parámetros hidráulicos

Se registraron valores de transmisividad variables entre 24 y 350 m²/día.

1.27.4.2 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

El agua del acuífero Topo Chico es de tipo Sulfurada Cálcida.

1.28 CAÑÓN DEL DERRAMADERO

1.28.1 INFORMACIÓN GENERAL

El acuífero Cañón del Derramadero, clave 0502, se localiza en la porción sur del Estado de Coahuila. Cubre una superficie de 948 Km² y se encuentra prácticamente en su totalidad en el Municipio de Saltillo y sólo una pequeña parte al poniente en el Municipio General Cepeda.

1.28.2 FISIOGRAFÍA

El acuífero Cañón del Derramadero se encuentra en el límite entre dos provincias fisiográficas, la Sierra Madre Oriental y la Cuenca de Parras.

1.28.3 GEOLOGÍA

El acuífero Cañón del Derramadero está conformado por lutitas, limolitas y areniscas fracturadas de permeabilidad reducida, con un espesor mayor a 600 m que conforman la zona de valle; así como por calizas con fracturas y conductos provocados por disolución, de alta permeabilidad, en las partes altas de la sierra en la porción oriental. En la porción del acuífero conformada por calizas, el agua de lluvia se infiltra fácilmente y circula con rapidez a través de las fracturas y conductos de disolución, además de que los pozos resultan de alto rendimiento; mientras que en la porción del acuífero en el valle, conformada por materiales de baja permeabilidad, la capacidad de infiltración y circulación del agua subterránea es reducida, y los pozos extraen caudales reducidos. El basamento está

conformado por lutitas no fracturadas o con fracturas selladas que impiden la circulación del agua subterránea.

1.28.3.1 Geología del subsuelo

1.28.4 HIDROGEOLOGÍA

De acuerdo a la clasificación hidrogeológica de las rocas y a su disposición en el subsuelo, se diferenciaron 2 acuíferos. El primero alojado en las lutitas y areniscas de la Formación Parras y del Grupo Difunta. Se le denominó “porción del acuífero localizado en el valle” debido a que es el que se encuentra subyaciendo al Valle Cañón del Derramadero. Tiene un gran espesor; en varios pozos se han llegado a cortar entre 500 y 600 m sin llegar a la parte basal. Forman un acuífero de permeabilidad reducida donde los pozos rinden en promedio de 5 a 9 lps aunque llegan a encontrarse algunos con hasta 16 y 36 lps. Corresponde a un acuífero en medio fracturado y se caracteriza por su permeabilidad anisotrópica tanto horizontal como verticalmente.

1.28.4.1 Parámetros hidráulicos

En el territorio que cubre el acuífero no se han realizado pruebas de bombeo para la determinación de las propiedades hidráulicas del acuífero.

1.28.4.2 Profundidad del nivel estático

La profundidad al nivel de saturación del agua subterránea, medida desde la superficie del terreno, varía de menos de 20 m hacia el noroeste del valle, alrededor de los poblados Rancho Nuevo (Municipio de Saltillo, Coahuila) y La Paz y Nogales (Municipio de General Cepeda, Coahuila), hasta 80 m hacia el suroeste. En la porción oriental del valle, la profundidad al nivel de saturación del agua subterránea se ubica entre 40 y 100 m, los valores más profundos se encuentran hacia las estribaciones de la Sierra Madre Oriental (Figura 1.1.51).

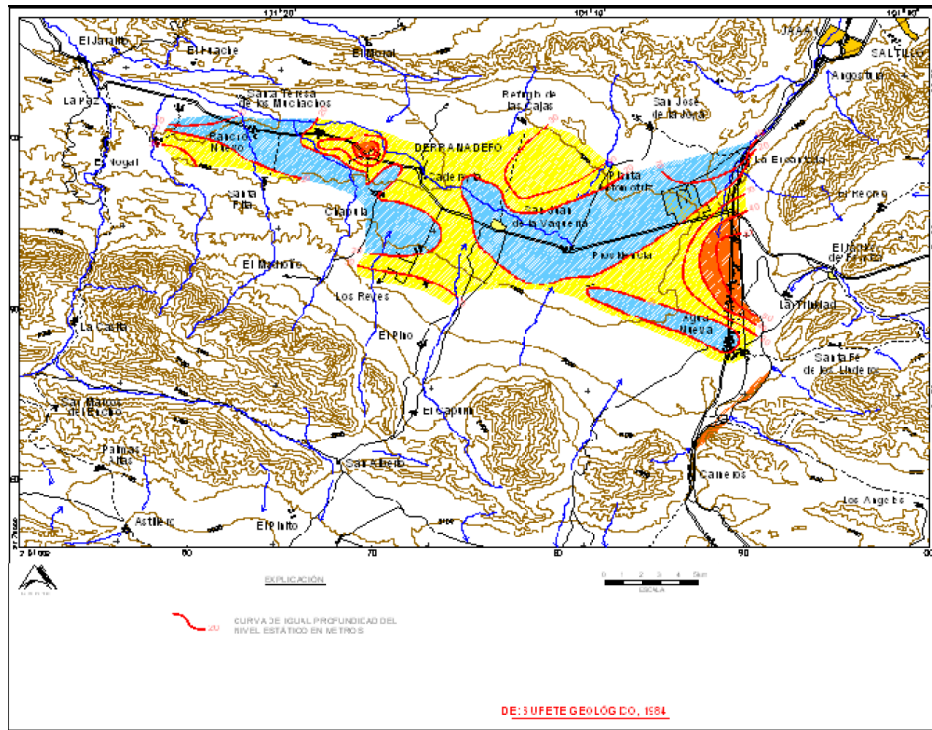


Figura 1.1.51. Profundidad al nivel Estático, 1984

1.28.4.3 Elevación del nivel estático

En el acuífero Cañón del Derramadero las mayores cotas de elevación del nivel de saturación del agua subterránea, referido al nivel del mar, se encuentran al pie de las sierras ubicadas al sur y al norte del valle, a partir de donde disminuyen hacia el centro del valle y posteriormente hacia el noroeste. Lo anterior indica que el flujo del agua subterránea circula de las sierras del sur y del oriente hacia el centro del valle, para posteriormente continuar su movimiento a través del subsuelo hacia el poniente, para finalmente salir del valle en la porción noroeste.

Los abatimientos del nivel de saturación en el acuífero Cañón del Derramadero varían de 0.1 a 1 metro por año (Figura 1.1.52)

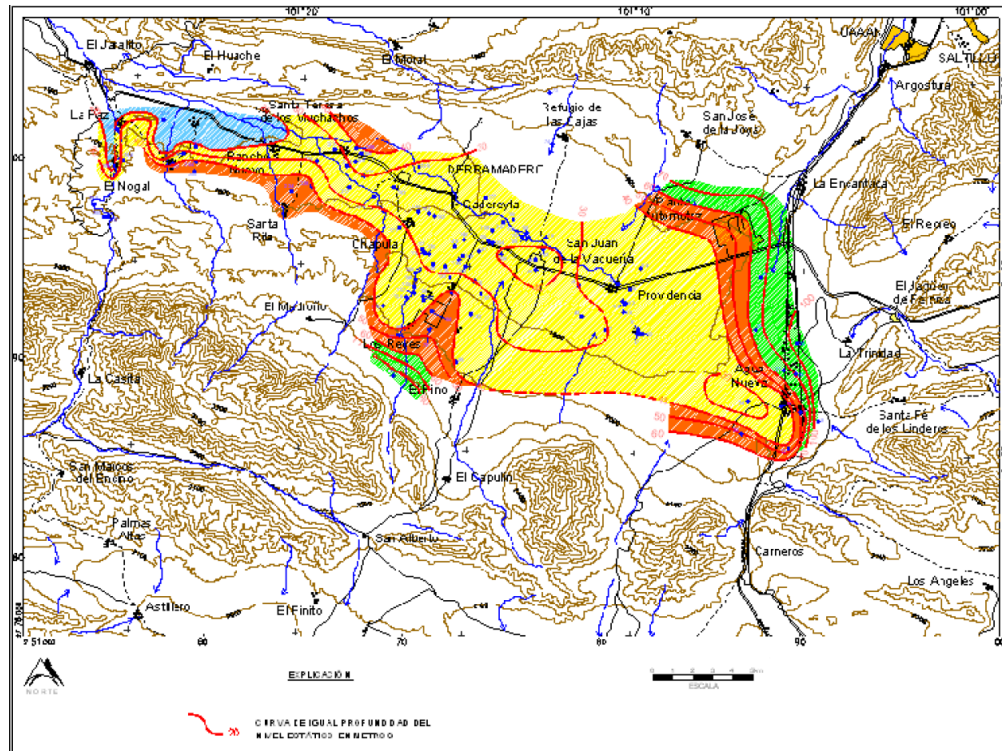


Figura 1.1.52. Elevación del nivel estático, 1984

1.28.4.4 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

La concentración de sólidos totales disueltos varía en el acuífero Cañón del Derramadero entre 232 y 2,385 mg/L. En la porción oriental del valle, en general el agua es de baja salinidad, lo cual indica que corresponde a agua de reciente infiltración, por lo que se confirma que existe una zona de recarga al acuífero proveniente de las calizas de la Sierra Madre Oriental, entre las sierras de Zapalinamé, Ferniza y Santa Fe de Los Linderos.

Bajas salinidades del agua subterránea se ubican también hacia el sur del valle, lo cual ratifica que estas porciones constituyen zonas de recarga de agua al acuífero. Las concentraciones de sólidos totales disueltos presentan incremento en dirección al centro del valle y posteriormente hacia el noroeste, coincidiendo con la dirección del flujo subterráneo.

La calidad del agua del acuífero para uso potable en general es buena, aunque en algunas zonas del acuífero se identificaron concentraciones de sólidos totales disueltos, sulfatos, sodio, calcio, magnesio y nitratos que rebasan los límites máximos permisibles establecidos en la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994.

1.29 CAÑÓN DEL HUAJUCO

1.29.1 INFORMACIÓN GENERAL

El acuífero Cañón del Huajuco, clave 1911, se localiza en la porción oriental del Estado de Nuevo León, al sureste de la Ciudad de Monterrey, cubre una superficie de 235 Km² y abarca parcialmente los Municipios Monterrey y Santiago, así como pequeñas porciones de los Municipios Santa Catarina, Juárez y Cadereyta Jiménez. Las principales localidades

que se localizan dentro de la superficie del acuífero son Santiago y la porción sur de la Ciudad de Monterrey.

1.29.2 FISIOGRAFÍA

La zona queda comprendida en la porción sur de la provincia Región Montañosa de Coahuila, parte oriental de la provincia Cuenca de Parras y estribación norte de la provincia de la Sierra Madre Oriental.

1.29.3 GEOLOGÍA

El acuífero está constituido por rocas sedimentarias marinas cretácicas, rocas sedimentarias del Paleógeno y del Cuaternario. Las rocas presentes en la zona de estudio abarcan del Jurásico Medio-Superior al Cuaternario, mismas que a continuación se describen.

1.29.3.1 Geología del subsuelo

El acuífero se emplaza en rocas sedimentarias que conforman los pliegues sinclinales y anticlinales, especialmente en lutitas alteradas de baja permeabilidad, hasta una profundidad de aproximadamente 70 m, así como en los delgados depósitos aluviales presentes en el cauce del río La Chueca. El basamento del acuífero y las fronteras al flujo subterráneo están constituidos por las mismas lutitas cuando se presentan inalteradas y cuando desaparece su fracturamiento.

1.29.4 HIDROGEOLOGÍA

El acuífero es de tipo libre a semiconfinado, heterogéneo y anisótropo y se aloja en una unidad hidrogeológica conformada por un medio granular (sedimentos aluviales) y otro fracturado.

El acuífero está constituido principalmente por lutitas alteradas y a mayor profundidad por calizas que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento y disolución. Como ya se mencionó, el basamento está integrado por lutitas sin alteración ni fracturamiento. Las lutitas se encuentran en la mayor parte del subsuelo, lo que le confiere baja permeabilidad, la cual aumenta notablemente en zonas que presentan fallas y fracturas, por lo que el agua subterránea se desplaza a través de ellas. Debido a que el fracturamiento no se encuentra a más de 70 m de profundidad, la porción permeable del acuífero ocurre en su parte superior. Las calizas son de alta permeabilidad, originada por el fracturamiento y disolución, constituyendo en superficie zonas de recarga y en el subsuelo una unidad acuífera de excelente producción. Los sedimentos de origen aluvial tienen espesores reducidos y su distribución espacial se limita a los cauces que cruzan la zona de estudio.

1.29.4.1 Parámetros hidráulicos

En la superficie que cubre el acuífero no se cuenta con información de pruebas de bombeo ni aforos. Los valores de transmisividad se obtuvieron de pruebas de bombeo realizadas en los acuíferos vecinos El-Carmen-Salinas Victoria y Zona Citrícola Norte, los cuales fueron extrapolados por correlación hidrogeológica, de acuerdo con la geología y el espesor saturado, dado que todos ellos se ubican en una región con la misma geología, estructuras y evolución geológica. De esta manera, los valores de transmisividad varían de 1.0×10^{-4} a 1.1×10^{-3} m²/s.

1.29.4.2 Profundidad del nivel estático

En el año 1989 la profundidad al nivel estático variaba de 2 a 30 m. La profundidad máxima es de 30 m y se presenta al norte del acuífero, al poniente del fraccionamiento Portal del Huajuco. Las profundidades mínimas varían de 2 a 5 m y se presentan al norte, cerca del Centro Deportivo, al centro, cerca del poblado Los Rodríguez y al sur en las inmediaciones del poblado Huajuquito. En general, la profundidad del nivel estático del acuífero se encuentra aproximadamente a los 10 m.

En el año 2007 la configuración presentó valores que variaban entre 2 y 45 m. Las mínimas profundidades varían de 2 a 5 m al norte, por el Centro Deportivo, al centro por el poblado Loma La Laguna y al sur por el poblado Huajuquito. En general la profundidad en los márgenes del arroyo "La Chueca" fluctúa entre 5 y 12 m, incrementándose gradualmente por efecto de la topografía hacia las sierras que delimitan el acuífero. La máxima profundidad al nivel estático de 45 m se registró al sur del acuífero, en el poblado San Francisco (Figura 1.1.53).

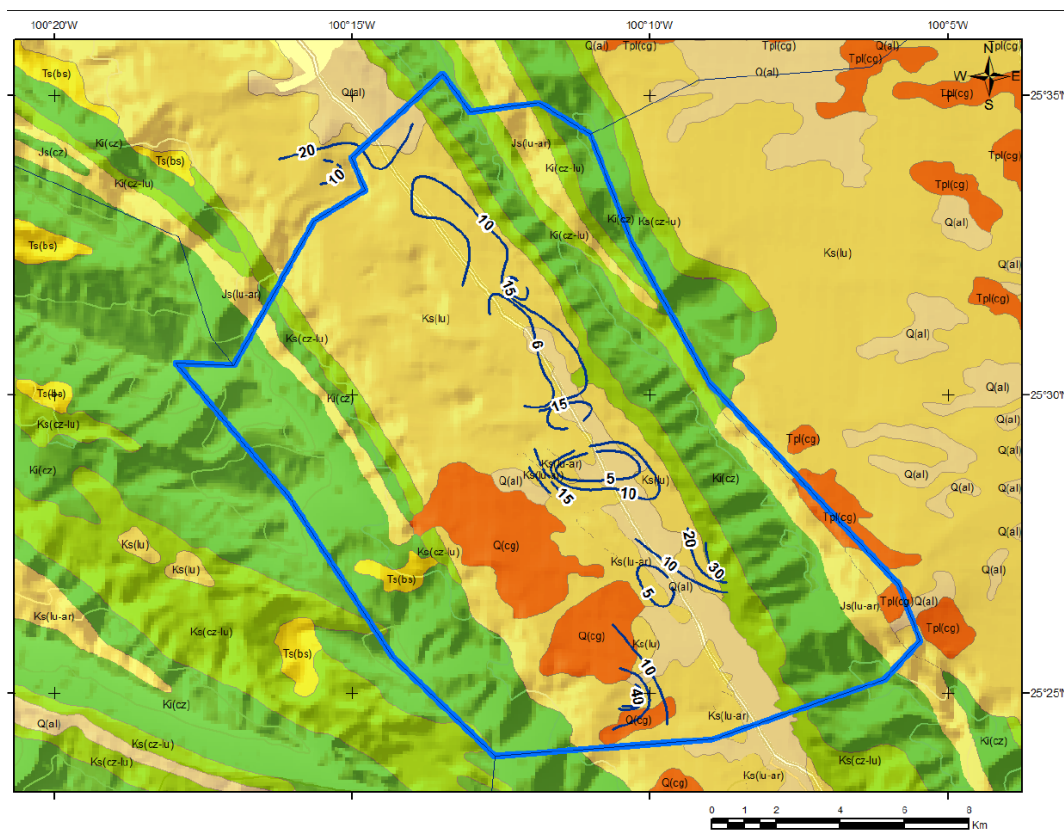


Figura 1.1.53. Profundidad del nivel estático en m (2007)

1.29.4.3 Elevación y evolución del nivel estático

La elevación del nivel estático del agua subterránea el año 1989 variaba de 450 a 612 msnm, los valores mínimos se registraron al sur del acuífero, en la porción occidental de la presa Rodrigo Gómez; en tanto que los valores máximos se presentaron al oriente de la porción media del acuífero.

Para el año 2007, la elevación del nivel estático variaba de 440 a 640 msnm. En la configuración de la elevación del nivel estático para ese año (Figura 1.1.54), se observa que la elevación mínima se presenta al sur del acuífero, cerca del fraccionamiento Las Huertas y la elevación máxima al norte del acuífero hacia las estribaciones de la sierra; en el valle la elevación máxima es de 615 msnm, registrada al norte del acuífero, en el fraccionamiento Portal del Huajuco.

La dirección preferencial del flujo subterráneo a lo largo del valle es noroeste-sureste, con alimentaciones provenientes del norte, así como de los flancos de montaña que bordean el valle, principalmente en la porción central, al oriente y poniente del arroyo La Chueca y por la porción sur, al poniente de la presa Rodrigo Gómez. El flujo subterráneo descarga parcialmente hacia la presa Rodrigo Gómez.

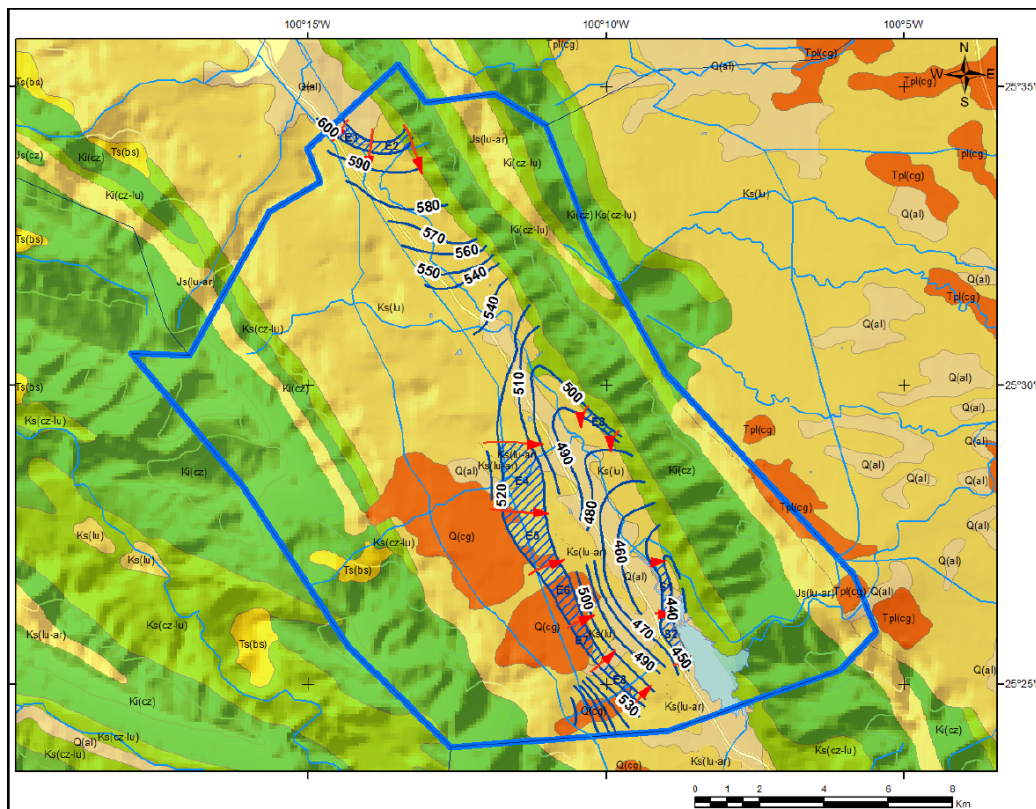


Figura 1.1.54. Elevación del nivel estático en msnm (2007)

Con la información piezométrica correspondiente a los años 1989 y 2007, se elaboró la configuración de la evolución del nivel estático mostrada en la Figura 1.1.55. En ella se muestra que el abatimiento máximo es 18.5 m en la porción central del acuífero, en las inmediaciones del poblado El Barrial. La recuperación máxima es 12.1 m y se presenta en la porción norte, por el Centro Deportivo. En general, se registran tanto recuperaciones como abatimientos; sin embargo, la evolución anual es pequeña durante el periodo de 18 años considerado.

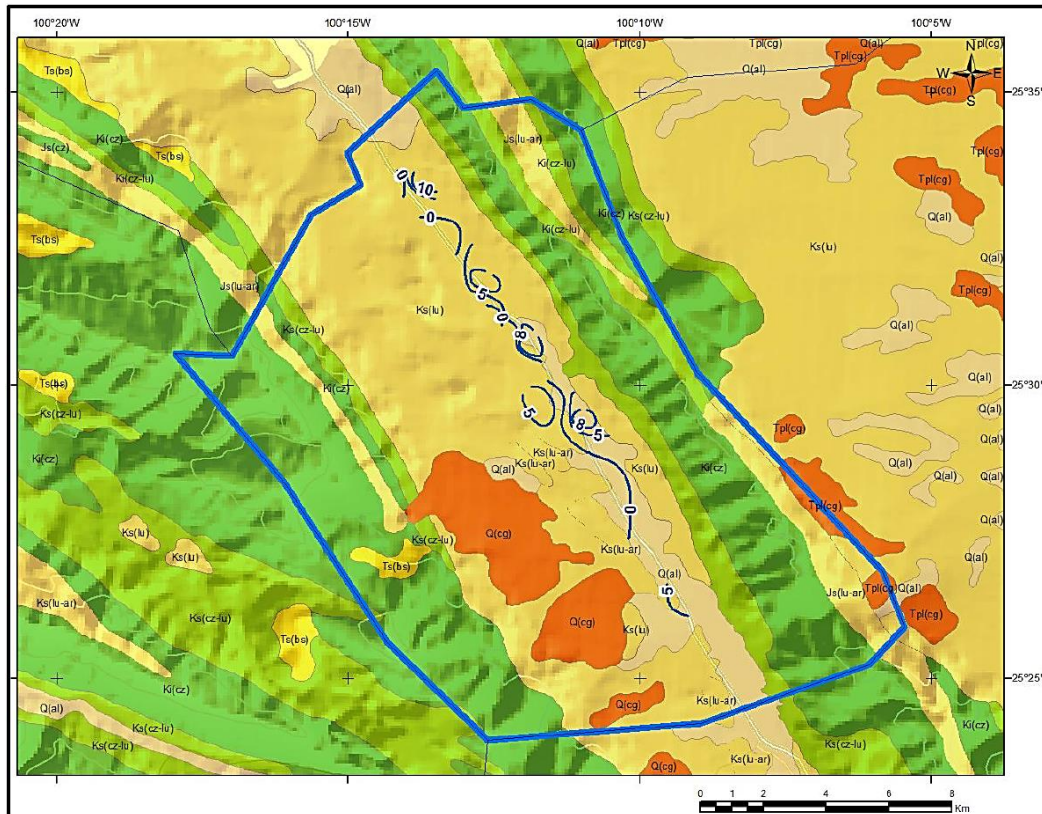


Figura 1.1.55. Evolución del nivel estático en m. (1989 – 2007)

1.29.4.4 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

En el año 2007 se midió la conductividad eléctrica del agua subterránea, como indicador de la concentración de sólidos totales disueltos. La menor conductividad, de 263 $\mu\text{S}/\text{cm}$, se presenta en la porción sur, por el poblado San Francisco y la máxima conductividad es 670 $\mu\text{S}/\text{cm}$, ubicada al norte del acuífero por las Instalaciones Deportivas.

La salinidad del agua subterránea en general es menor a 1,000 ppm, que corresponde al límite máximo permisible para consumo humano establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994.

1.30 CARICHI-NONOAVA

1.30.1 INFORMACIÓN GENERAL

El acuífero Carichí-Nonoava, clave 0846, se localiza en la parte suroeste del Estado de Chihuahua, cubre una superficie de 6,994.41 Km^2 y comprende parcialmente a los municipios de Carichí, Nonoava, Bocoyna, Balleza, Guachochi y Ocampo. Administrativamente, corresponde a la Región Hidrológica-Administrativa Río Bravo.

1.30.2 FISIOGRAFÍA

El acuífero Carichí-Nonoava, de acuerdo al Instituto Nacional de Estadística y Geografía, se encuentra en la Provincia Fisiográfica denominada Sierra Madre Occidental, que se

compone de rocas ígneas extrusivas, en la Subprovincia de la Gran Meseta y Cañones Chihuahuenses.

1.30.3 GEOLOGÍA

En la superficie del acuífero Carichí-Nonoava, afloran depósitos aluviales, conglomerados, rocas volcánicas de composición basáltica, andesítica, ignimbritas, riolitas y tobas riolíticas. Los depósitos aluviales están formados por gravas, arenas, limos y arcillas sin consolidar; se encuentran cubriendo a los depósitos lacustres y su espesor es sumamente variable, pudiendo alcanzar decenas de m en las zonas de la planicie. Las rocas volcánicas basálticas y andesíticas, de textura microcristalina, afloran en forma de derrames con espesor inferior a 2 m, y subyacen discordantemente al paquete de rocas volcánicas de composición ácida de la secuencia volcánica superior. Las rocas volcánicas se emplazaron principalmente a través de fisuras.

Los conglomerados, pie de montes y aluviones del Reciente que afloran en los valles, están conformados por arenas, limos y arcillas, con espesores de hasta 300 m en las fosas tectónicas, cuya orientación es noroeste-sureste.

1.30.4 HIDROGEOLOGÍA

El acuífero Carichí-Nonoava, es de tipo libre, y está compuesto principalmente por sedimentos aluviales, conglomerados y rocas ígneas fracturadas conectadas entre sí.

El medio granular está conformado por sedimentos aluviales y conglomerados alojados en los pequeños valles de los poblados Carichí y Nonoava. Este medio es el que se encuentra en explotación actualmente.

El medio fracturado está conformado por rocas volcánicas de composición basáltica e ignimbritas con buena permeabilidad, localizadas en las sierras con altura de 2,700 m, que muestran fallas normales con dirección noroeste-sureste y norestesuroeste.

Los pozos perforados en este medio alcanzan los 160 m.

La recarga natural del acuífero se deriva por la infiltración de la lluvia en las sierras fracturadas y en las planicies.

1.30.4.1 Parámetros hidráulicos

En el territorio que cubre el acuífero no se han realizado pruebas de bombeo para la determinación de las propiedades hidráulicas del acuífero.

1.30.4.2 Profundidad del nivel estático

La profundidad al nivel estático, medida desde la superficie del terreno, varía de 30 a 90 m.

1.31 CASTAÑOS

1.31.1 INFORMACIÓN GENERAL

El acuífero Castaños, clave 0519, se localiza en la porción centro oriental del Estado de Coahuila, abarca una superficie de 5,080 Km²; comprende parcialmente al Municipio de Castaños del Estado de Coahuila de Zaragoza y al Municipio de Mina del Estado de Nuevo León, y administrativamente, corresponde a la Región Hidrológico Administrativa Río Bravo.

1.31.2 FISIOGRAFÍA

El acuífero Castaños, se encuentra dentro de la Provincia Fisiográfica Región Montañosa de Coahuila, que se caracteriza por tener numerosas sierras alargadas orientadas en sentido noroeste-sureste, constituidas por pliegues anticlinales en rocas del Cretácico Medio e Inferior. Estas sierras se encuentran divididas por amplios valles y bolsones. El relieve de la superficie del terreno en la zona en estudio permite diferenciar cuatro unidades geomorfológicas: Sierras calcáreas e intrusivas, lomeríos-mesetas, valles y pies de monte.

1.31.3 GEOLOGÍA

La columna geológica de la zona de estudio, está constituida por rocas sedimentarias marinas del Cretácico que afloran en las sierras La Gloria y Purísima y que hacia la planicie se encuentran cubiertas por un conglomerado del Terciario y aluviones del Cuaternario.

1.31.3.1 Geología del subsuelo

El acuífero se encuentra constituido, en su parte superior, por sedimentos aluviales y conglomerados, de baja permeabilidad; en tanto que su porción inferior se aloja en rocas calcáreas. Ambas unidades se encuentran separadas por sedimentos arcillo-calcáreos, que crean condiciones de semiconfinamiento.

1.31.4 HIDROGEOLOGÍA

El subsuelo del valle se encuentra constituido por una capa de material aluvial (arenas, arcillas y gravas con algunos lentes de cantos rodados), que presenta reducida permeabilidad en la mayor parte del valle y una permeabilidad media hacia su porción central, en donde las corrientes superficiales intermitentes, han acarreado y acumulado material más grueso (arenas), que le confieren mejor permeabilidad. En contraste, hacia los flancos del valle, predominan los materiales aluviales finos (arcillas) que presentan baja permeabilidad. Los aluviones que cubren el valle presentan espesores que varían desde 10 hasta alrededor de 80 m. Bajo dichos materiales, se presentan tanto conglomerados del Terciario, como lutitas del Cretácico Superior, materiales que permiten la entrada de agua pero que impiden o limitan su salida, por lo que se clasifican como “acuitardos” (material saturado de muy reducida permeabilidad y bajo interés geohidrológico).

1.31.4.1 Parámetros hidráulicos

En el año 2009, se ejecutaron 10 pruebas de bombeo, tanto en etapa de abatimiento como de recuperación, cuya duración varió de 1 a 28 horas, cuya interpretación arroja valores extremos que varían de 0.03 a $124.8 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.

En general, los valores obtenidos son bajos y varían de 0.25 a $1.06 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$, excepto algunos sitios ubicados cerca o sobre cauces de arroyos, donde predominan arenas y gravas sueltas con menor contenido de arcillas, donde la transmisividad es mayor (3.0 a $13.9 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$), el valor más alto registrado presentó un valor más alto de $124.77 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$. En el área de Acámbaro, las transmisividades son bajas y varían de 0.03 a $0.51 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$, debido a que los materiales que constituyen el subsuelo son más finos.

1.31.4.2 Profundidad del nivel estático

En la configuración de la profundidad al nivel estático mostrada en el Figura 1.1.56, se observa que la profundidad al nivel del agua subterránea varía de 10 a 60 m, registrándose los valores más bajos, hacia el centro del valle, en las inmediaciones de las localidades Castaños y Acámbaro. Hacia los pies de las sierras y debido a la elevación de la topografía, el nivel se profundiza hasta alcanzar los 60 m.

En la parte central del acuífero, la profundidad se encuentra entre 20 y 50 m, las más someras hacia el centro del valle y las más profundas hacia los flancos de las sierras.

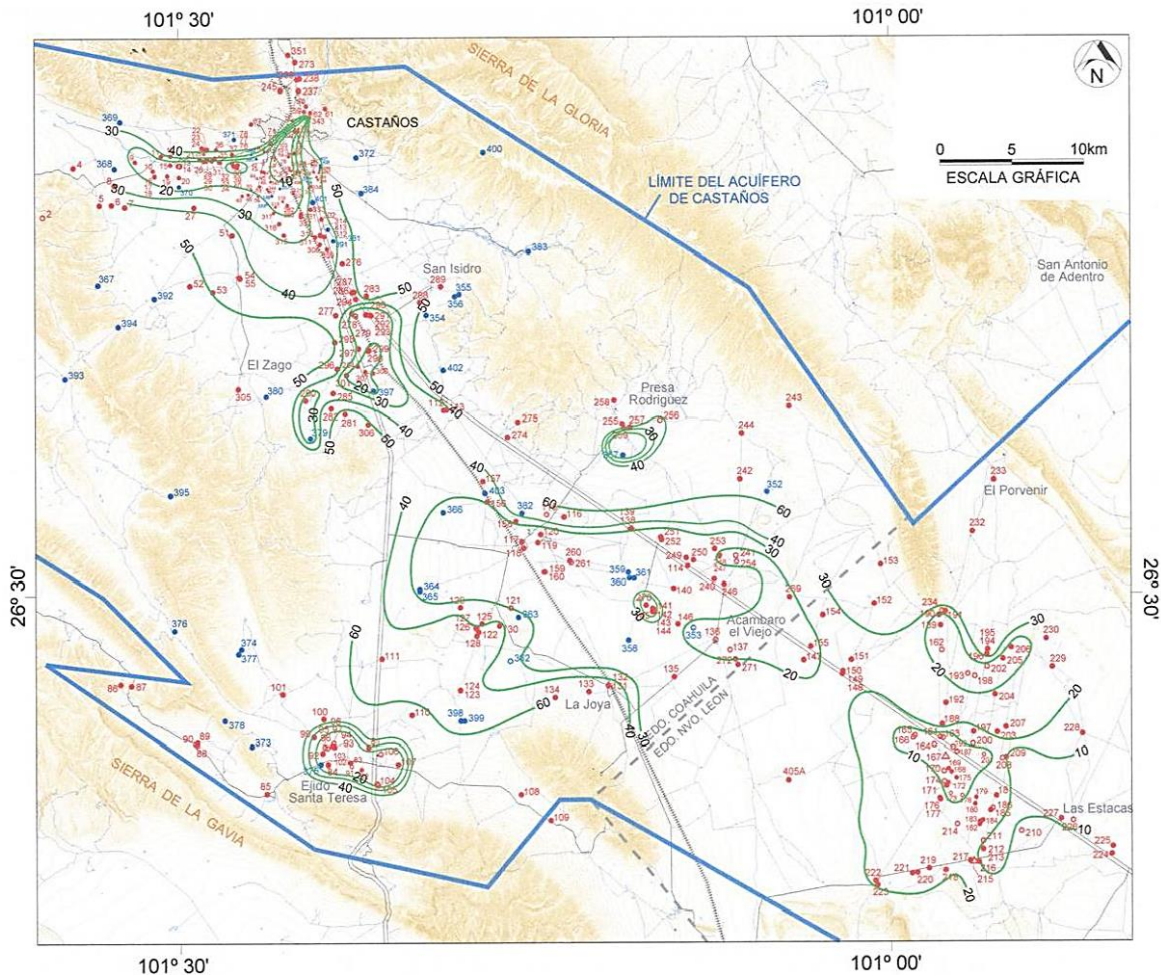


Figura 1.1.56. Profundidad al nivel estático en m, 2008 (CONAGUA 2010)

1.31.4.3 Elevación del nivel estático

Es posible identificar la existencia de dos subsistemas acuíferos; uno se extiende de la población de Castaños hasta 24 Km al sur de la misma, donde las curvas piezométricas más altas (900 msnm), descienden gradualmente hacia el norte hasta la curva 730 msnm, indicando un flujo subterráneo que circula de sur a norte.

En el límite sur del subsistema acuífero Castaños, a partir de donde se marcó un parteaguas hidrodinámico, se extiende el segundo subsistema acuífero (Acámbaro). En esta porción, las curvas piezométricas que se elevan a 900 msnm que descienden gradualmente hacia el centro del valle en una dirección NW-SE, hasta la curva 640 msnm, indicando una dirección de circulación del flujo subterráneo hacia el sureste (Figura 1.1.57).

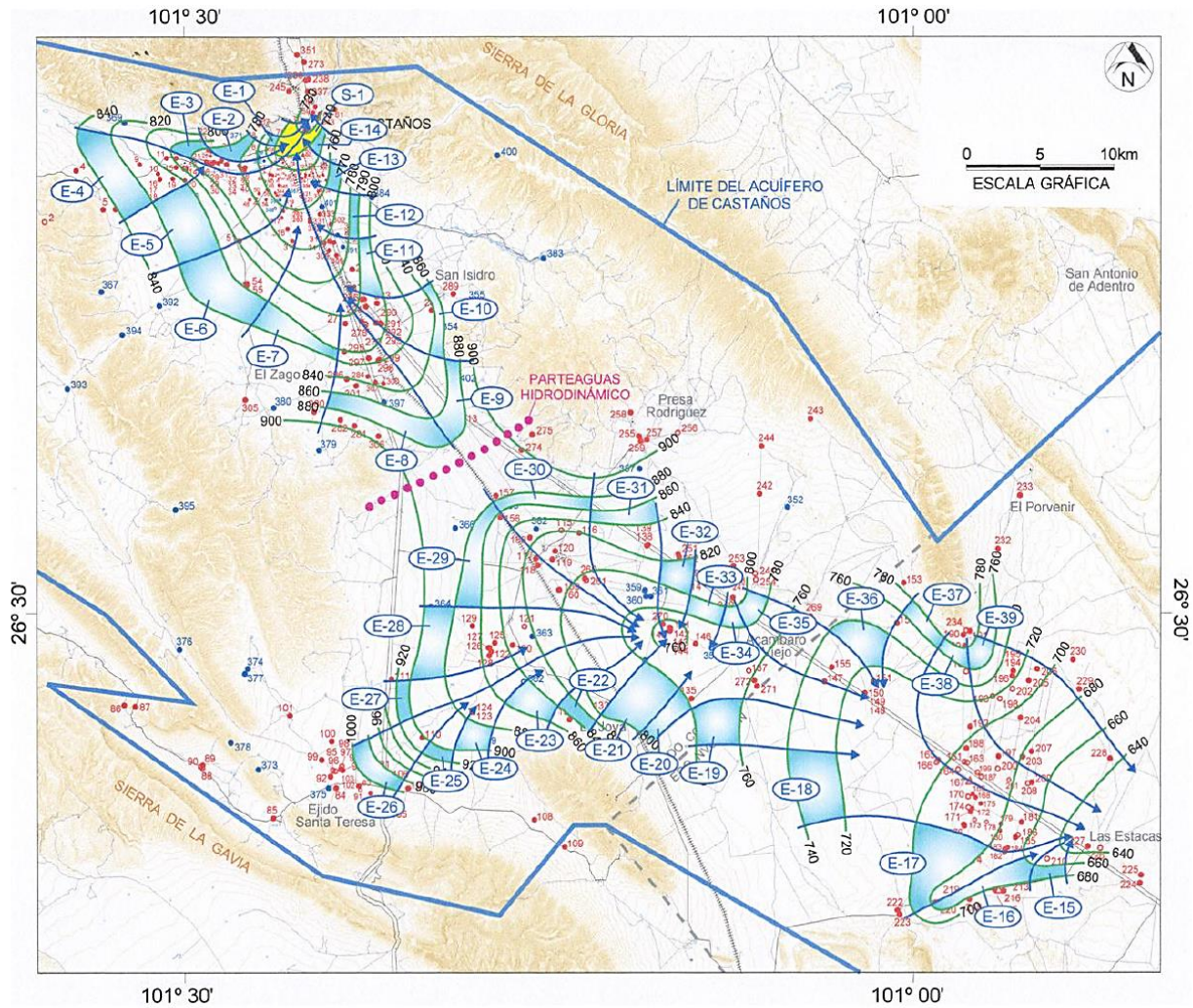


Figura 1.1.57. Elevación del nivel estático en msnm, 2009, (CONAGUA, 2010)

Con respecto a la evolución del nivel estático, se tomó en cuenta los datos piezométricos recabados por la Dirección Local de la CONAGUA en Coahuila, que corresponden al 2003, para elaborar la configuración 2003-2009 que se muestra en la **Figura 1.1.58**.

En dicha figura se observa que se han registrado evoluciones positivas, hasta de 10 metros en la zona de Castaños o parte norte del acuífero y 4 metros en la parte central del acuífero. De acuerdo al periodo analizado (2003-2009), se estimó una evolución media de 0.7 m/año en el subsistema Castaños y 0.5 m/año en el subsistema Acámbaro. Para la parte sureste del acuífero, no se contó con información que permitiera apoyar el cálculo de la evolución, pero se puede asumir el mismo ritmo anual de recuperación de 0.5 m/año.

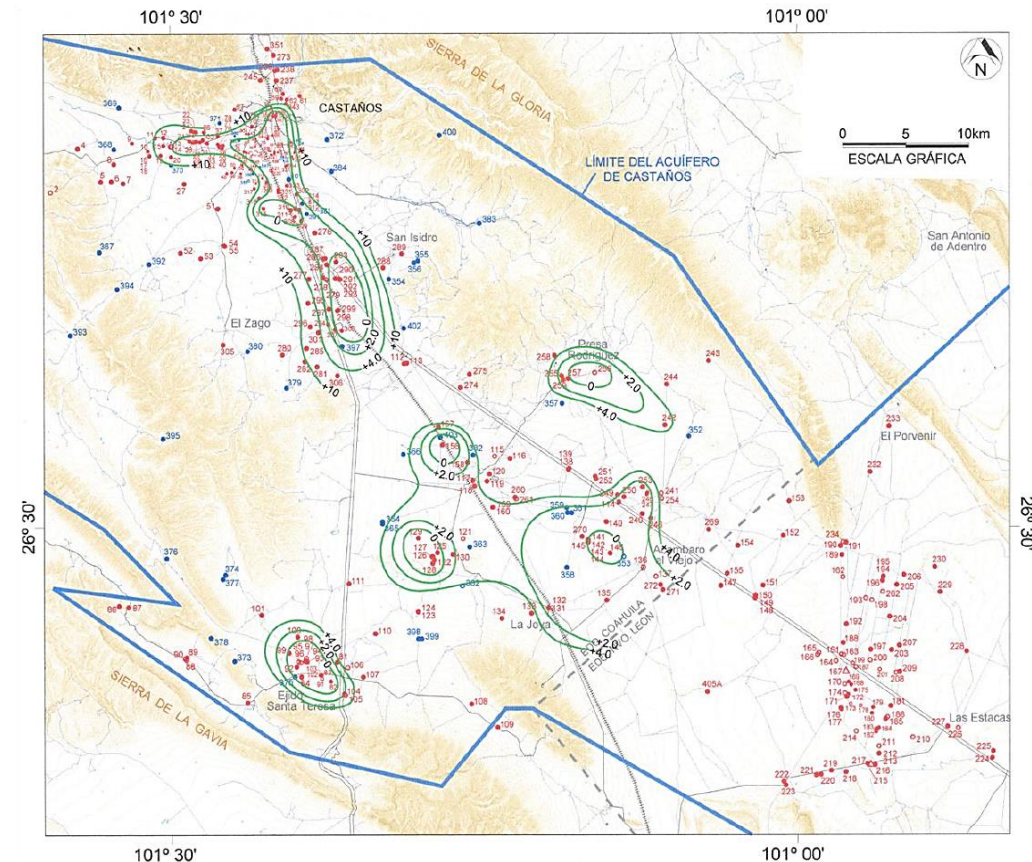


Figura 1.1.58. Evolución del nivel estático en m (2006-2009), (CONAGUA, 2010)

1.31.4.4 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

El agua subterránea en la mayor parte del acuífero presenta problemas de calidad para uso y consumo humano, ya que varios parámetros sobrepasan el límite permisible de acuerdo a la NOM-127-SSA1-1994 (2000), principalmente en sólidos totales disueltos cuyas concentraciones oscilan de 600 a 4,000 mg/L siendo 1,000 mg/L el límite máximo permisible.

Con respecto a las familias del agua, hacia el norte y poniente, el agua subterránea es cálcico-bicarbonatada, como reflejo de las calizas de la Sierra de La Purísima y de sus productos de erosión, mientras que en la parte central del valle (donde se favorece la evaporación del agua superficial), el agua es cálcico-sulfatada por la presencia de sales evaporíticas de yesos y anhidritas depositadas entre los sedimentos del valle.

1.32 CHIHUAHUA - SACRAMENTO

1.32.1 INFORMACIÓN GENERAL

El acuífero Chihuahua - Sacramento, clave 0830, se localiza en la porción central del estado de Chihuahua, cubriendo una superficie de 1889 Km².

1.32.2 FISIOGRAFÍA

El acuífero Chihuahua-Sacramento se encuentra ubicado dentro de las Provincias Fisiográficas Sierra Madre Occidental y Sierras y Llanuras y del Norte, cuyo límite atraviesa su porción central en dirección noreste.

1.32.3 GEOLOGÍA

El acuífero Chihuahua-Sacramento se desarrolla en los depósitos aluviales paleógenos - cuaternarios que rellenaron una fosa tectónica limitada por los bloques levantados representados por la prolongación hacia el sur de la Sierra Majalca y por la Sierra Nombre de Dios. El relleno aluvial alcanza un potente espesor en la porción norte del valle, el cual disminuye notablemente hacia el sur.

Tanto la Sierra Majalca como Nombre de Dios se componen por rocas volcánicas riolíticas del Paleógeno y Neógeno, aunque localmente afloran andesitas y basaltos principalmente en la primera de ellas. Sin embargo, las rocas calcáreas cretácicas están expuestas en el extremo sur del flanco occidental de la Sierra Nombre de Dios y en su extremo norte en la localidad minera de Estación Terrazas, con presencia de cuerpos intrusivos monzoníticos. Esta misma condición se observa en las inmediaciones de la porción sur de la Sierra Majalca, justo en la localidad Punta de Agua (unos 10 Km al oeste de Estación Terrazas).

1.32.3.1 Geología del subsuelo

El acuífero Chihuahua-Sacramento se emplaza en sedimentos clásticos de relleno de fosa tectónica ("Fosa Chihuahua") la cual se desarrolla con un rumbo NNO-SSE, que representa la continuidad hacia el sur de la fosa tectónica del Sauz-Encinillas, limitada al oeste por el bloque tectónico Mogote-La Haciendita, y al este por el bloque Sacramento.

El acuífero se encuentra emplazado en una cuenca tectónica cuyo espesor probablemente sea mayor a 600 m, de acuerdo con los sondeos geofísicos, ya que los pozos más profundos alcanzan los 400 m constituidos por sedimentos clásticos aluviales de granulometría variable, sin llegar al basamento calcáreo-volcánico, como es el caso de los situados en los alrededores del Complejo Industrial en el norte de la ciudad de Chihuahua y en la batería de pozos Sacramento de la JMAS. Tomando en cuenta algunos cortes litológicos de pozos, se aprecian grandes espesores de sedimentos de grano grueso como arena y gravas, así como conglomerados parcialmente consolidados que presentan permeabilidad media a alta; sin embargo es de esperarse zonas con una mayor concentración de sedimentos finos como limos y arcillas que son comunes en este tipo de ambiente sedimentario. De acuerdo con información geofísica, el espesor del relleno aluvial se estima en alrededor de 300 m en la zona de Sacramento-Ejido Ocampo, que constituye el límite norte del acuífero.

1.32.4 HIDROGEOLOGÍA

Las evidencias geológicas, geofísicas e hidrogeológicas permiten clasificar al acuífero Chihuahua-Sacramento como un acuífero tipo libre a semiconfinado, heterogéneo y anisótropo que se desarrolla en forma conjunta tanto en el medio granular como en el fracturado, conformando una sola unidad hidrogeológica cuyo espesor varía de 350 a 750 m en sus extremos sureste y noroeste, respectivamente. Localmente, se presentan condiciones de confinamiento que provocan artesianismo.

1.32.4.1 Parámetros hidráulicos

En el año 2009 se determinaron valores de transmisividad que variaron de 5 m²/día a 1200 m²/día (5.8 x10⁻⁵ a 13.9 x 10⁻³ m²/s) con un valor promedio de 433 m²/d (5.0 x 10⁻³ m²/s), en

tanto que la conductividad hidráulica presenta valores que oscilan entre 0.04 y 8.8 m/día (4.6×10^{-7} a 1.0×10^{-4} m/s).

Se estimó un rendimiento específico S_y que varía de 0.10 a 0.16, obtenido mediante la interpretación de las pruebas de bombeo por el modelo numérico de dos capas de Rathod y Rushton, con un valor promedio de 0.13, que por correlación hidrogeológica coincide con los acuíferos vecinos que presentan una geología similar.

1.32.4.2 Profundidad del nivel estático

En el año 2005 la configuración de profundidad al nivel estático presentó valores que variaban de 30 a 80 m. En la zona norte (Sacramento) se registran profundidades de 30 a 60 m, en tanto que en la porción noroccidental de la ciudad de Chihuahua se presentan los valores máximos 80 m, los cuales disminuyen por efecto topográfico hacia el límite oriental del acuífero, al aproximarse al cauce del Río Chuvíscar (Figura 1.1.59).

En el año 2009 se registraron niveles someros en localidades como Nuevo Majalca y Col. Ocampo, ubicados al norte y noroeste del acuífero, registrados en norias perforadas en el subálveo del río y que por lo tanto no representan los niveles de explotación de los pozos.

Los valores varían de 20 a 100 m, los más someros se registran en la porción norte, hacia la zona de Sacramento, y hacia el este de la ciudad de Chihuahua; los más profundos se presentan en la ciudad de Chihuahua (por concentración del bombeo) y hacia el límite occidental del acuífero por efecto topográfico (Figura 1.1.60).

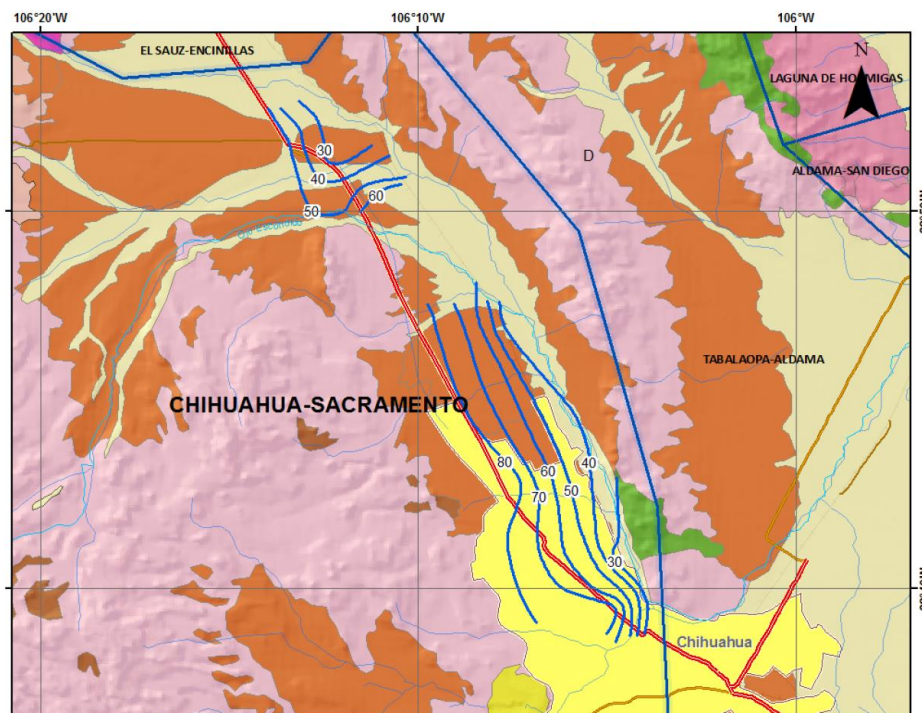


Figura 1.1.59. Profundidad al nivel estático en m (2005)

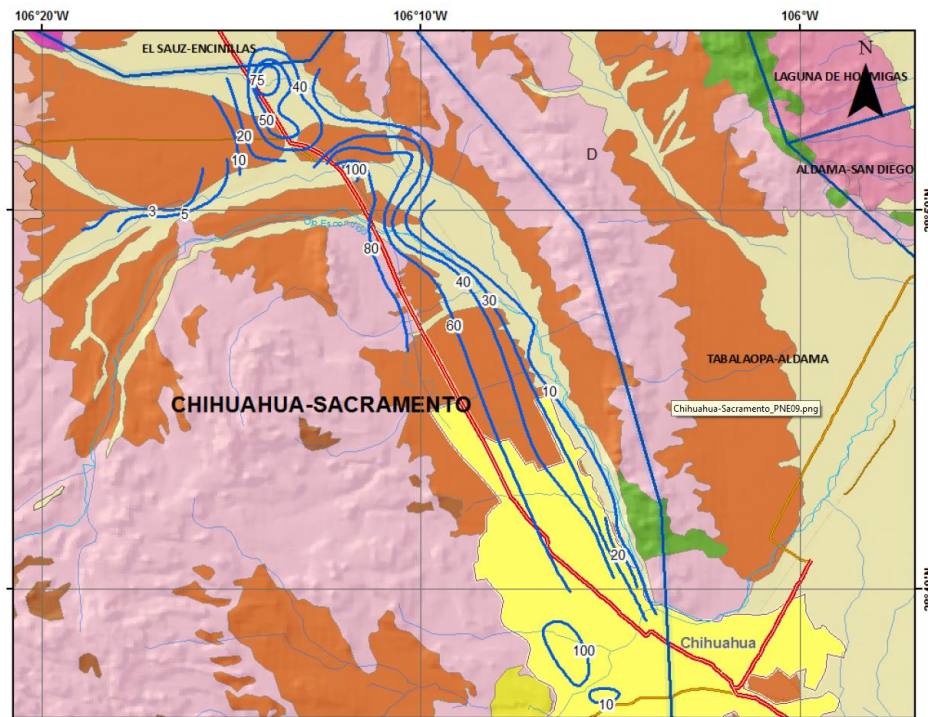


Figura 1.1.60. Profundidad al nivel estático en m (2009)

1.32.4.3 Elevación del nivel estático

Con respecto a la configuración de elevación del nivel estático para el año 2005, se observa que los valores varían de 1,570 a 1,360 msnm (Figura 1.1.61). Las menores elevaciones se registran en torno de la ciudad de Chihuahua, donde la extracción por bombeo genera un cono de abatimiento, desde donde se incrementan gradualmente por efecto de la topografía hacia los flancos este y oeste que representan las sierras que delimitan el acuífero y hacia el norte.

La dirección preferencial del flujo subterráneo muestra una trayectoria en sentido noroeste-sureste, con alimentaciones provenientes de los flancos oriental y occidental, para finalmente converger en la zona urbana de la ciudad de Chihuahua, en las configuraciones piezométricas recientes (2009) se aprecian dos conos de abatimiento, uno pequeño en la porción norte en las inmediaciones de la población de Sacramento y otro mayor en el área urbana la ciudad de Chihuahua.

En el año 2009 los valores de elevación varían de 1,680 a 1,380, mostrando la misma distribución espacial que para el año 2005. En la porción Norte es evidente la aparición de un cono de abatimiento causado por la batería de pozos El Sauz. En Colonia Sacramento se presenta un cono de abatimiento con valores inferiores de 1,420 msnm. Hacia la ciudad de Chihuahua los valores varían desde el norte de 1,460 hasta los 1,380 msnm y al sur de Labor de Terrazas se presentan valores de 1,520 msnm, los cuales decrecen con rumbo noreste hacia dicha ciudad, en donde forman un cono de abatimiento que han interceptado las salidas subterráneas hacia el acuífero vecino Tabalaopa-Aldama. Esto es evidente desde la configuración del 2005.

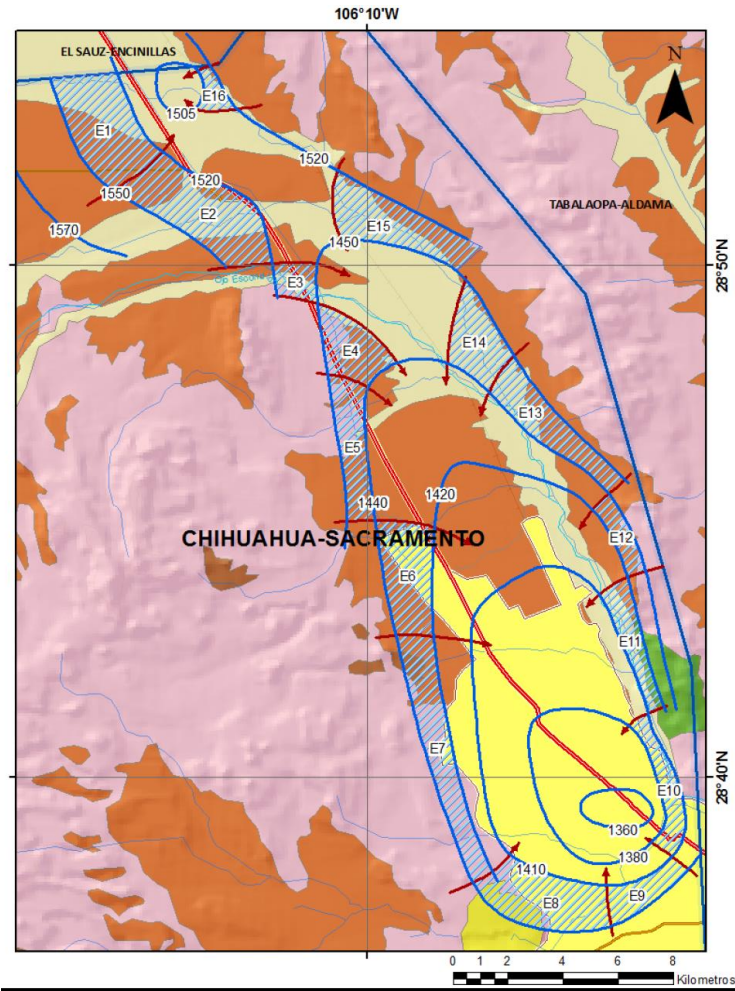


Figura 1.1.61. Elevación del nivel estático en msnm. (2005)

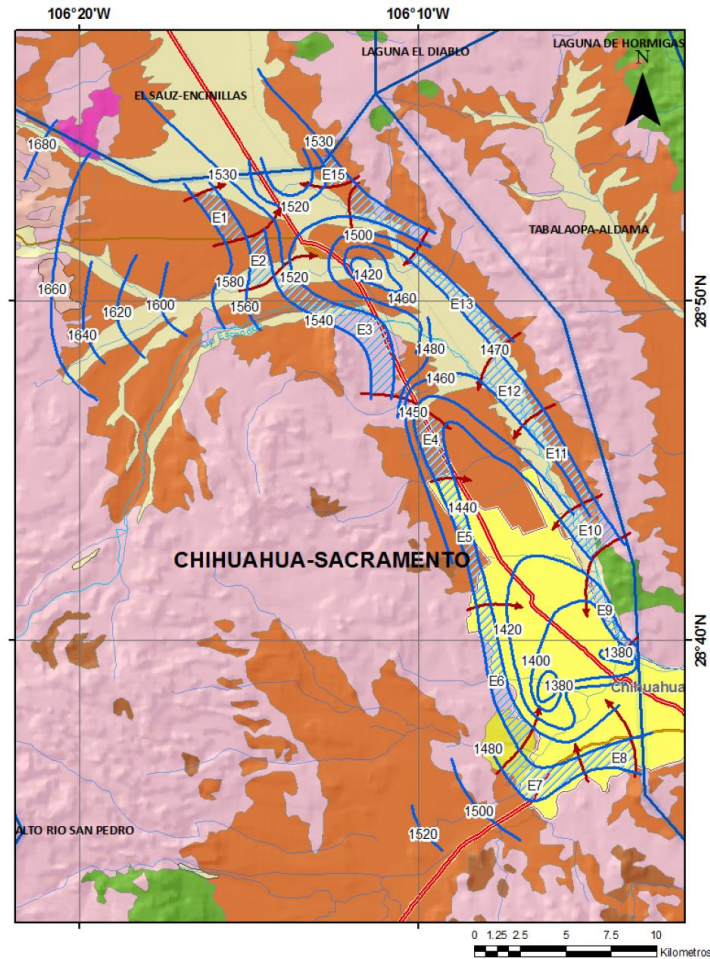


Figura 1.1.62. Elevación del nivel estático en msnm (2009)

1.32.4.4 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

De acuerdo con los resultados de los análisis fisicoquímicos, se puede observar que la concentración de Sólidos Totales Disueltos es menor a los 500 ppm, inferior a las 1,000 ppm que marca la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 para el agua destinada al consumo humano. De manera general, las concentraciones se incrementan desde el norte y desde las estribaciones de las sierras hacia el centro del acuífero.

En cuanto a la concentraciones de fluoruros, se registraron valores elevados (4 ppm) en el norte de la ciudad de Chihuahua y de Arsénico con concentraciones inferiores a 0.02 ppm.

1.33 CHINA – GENERAL BRAVO

1.33.1 INFORMACIÓN GENERAL

El acuífero China-General Bravo, clave 1913, se ubica en la porción noreste del Estado de Nuevo León. El acuífero tiene una extensión territorial de 2,822 Km², comprende parcialmente a los municipios de Los Ramones, China, Los Herreras, Doctor González, Cerralvo, General Bravo, Marín y Doctor Coss, así como una mínima parte comprendida

por los municipios de Los Aldamas, Higueras y General Terán. Administrativamente el acuífero corresponde a la Región Hidrológico-Administrativa Río Bravo.

1.33.2 FISIOGRAFÍA

Fisiográficamente la superficie del acuífero China-General Bravo, se ubica en la provincia de la Llanura Costera del Golfo de México, en la Subprovincia de la Cuenca del Bravo, en su límite occidental.

1.33.3 GEOLOGÍA

Litológicamente la superficie del acuífero China-General Bravo, está constituida principalmente por rocas sedimentarias que varían en edad del Cretácico al Cuaternario, con un gran predominio de rocas de edad cretácica en las sierras, destacando las rocas calizas y alternancias de calizas-lutitas. La columna sedimentaria de origen marino se encuentra intrusionada por rocas de composición diorítica. En el valle predominan las rocas sedimentarias marinas clásticas y conglomerados del Terciario, así como material aluvial del cuaternario, a lo largo de los cauces. Los afloramientos de las unidades cretácicas se presentan al norponiente y poniente del acuífero, en las sierras Picachos y Papagayos. Sobre las formaciones anteriores se depositaron las unidades estratigráficas que conforman la Cuenca de Burgos. La zona en estudio se ubica en la parte poniente de esta cuenca. El Terciario sedimentario se inicia en esta zona con la Formación Midway, que es una secuencia de litarenita intercalada con lutita de edad Paleoceno. Esta unidad litológica aflora al centro del acuífero, forma el núcleo del anticlinal Cuchillo-San Juan de Vaquerías. Sobre yaciendo a la formación anterior se encuentran sedimentos del Eoceno de la Formación Wilcox que consisten de una secuencia rítmica de arenisca micácea con estratificación cruzada y lutita; en la parte media contiene horizontes de yeso y caliza. Sobre yaciendo concordantemente a la Formación Wilcox, aflora la Formación Carrizo que consiste de una secuencia rítmica de arenisca y lutita. Sobre ésta y en contacto normal se encuentra la Formación Big Ford, compuesta de arenisca, limolita y lutita interestratificadas. La Formación Big Ford subyace a la Formación Pico Clay, representada por lutita e intercalaciones de arenisca, misma que subyace a la Formación Laredo compuesta por lutita arenosa y arenisca con glauconita.

Cubriendo concordantemente, aflora arenisca de estratificación cruzada y concreciones arcillosas, con contenido de yeso y lutita de la Formación Yegua. En la Sierra Papagayos, aflora un cuerpo intrusivo de composición diorítica, que afecta a todas las unidades del Cretácico y principios del Terciario. A este intrusivo se le da una edad del Oligoceno. En el Pleistoceno se depositó en discordancia con las formaciones anteriores la Formación Reynosa, que es un conglomerado constituido por fragmentos redondeados a subredondeados de caliza, arenisca, rocas volcánicas en matriz areno-arcillosa. Esta unidad cubre discordantemente formando mesetas a la mayoría de las formaciones del Terciario. También en el Plioceno se deposita un paquete de caliche de 5 m de espesor y travertino, y en el Holoceno y cubriendo las partes bajas se deposita el material aluvial.

1.33.3.1 Geología del subsuelo

En la parte central del acuífero, ya sea aflorando o en el subsuelo, se encuentra la Formación Midway, constituida de lutitas y areniscas, que cambian hacia el poniente, en dirección del Anticlinal Papagayos, a las lutitas y margas de la Formación Méndez, mientras que hacia el oriente, aparecen todas las formaciones del Terciario marino, que generalmente son areniscas o secuencias de lutitas y areniscas intercaladas. Los rasgos estructurales de la región noreste de México son el resultado de los esfuerzos compresivos ocasionados por la intensa deformación originada por la Orogenia Laramide.

1.33.4 HIDROGEOLOGÍA

El acuífero China-General Bravo, está constituido por tres unidades hidrogeológicas:

- 1) la más somera conformada por material granular que funciona como libre con espesores máximos de 30 m y es de bajo a muy alto potencial geohidrológico;
- 2) una unidad conformada por un medio fracturado que se presenta en lutitas y areniscas fracturadas de la Formación Méndez, Midway, Wilcox, Carrizo, Big Ford y Pico Clay, que generalmente se aprovecha en conjunto con el acuífero granular cuando está subyaciéndolo y es de potencial bajo; y
- 3) calizas como las Formaciones Cupido y Aurora que pueden tener desde bajo a muy alto potencial geohidrológico.

1.33.4.1 Parámetros hidráulicos

En el territorio que cubre el acuífero no se han realizado pruebas de bombeo para la determinación de las propiedades hidráulicas del acuífero.

1.33.4.2 Profundidad del nivel estático

La profundidad al nivel estático en el acuífero China-General Bravo, en el año 2009, fue de 1.1 a 33 m. Debido a que la mayor parte de los pozos perforados en el medio granular se encuentra a lo largo de las corrientes superficiales, no se puede establecer una configuración generalizada de la profundidad al nivel estático, ya que los pozos con datos de profundidad se encuentran formando tres grupos, Ramones-Hidalgo, Los Herrera y General Bravo – Doctor Coss cuyas curvas de profundidad varían de 5-10 m para el primero y entre 5-15 m para el segundo y tercero.

1.33.4.3 Elevación del nivel estático

En el medio granular las curvas de igual elevación del nivel estático varían de 100 msnm a 230 msnm, disminuyendo en elevación, en forma general, de suroeste a noreste, siguiendo casi la misma dirección que la carretera Los Ramones-General Bravo. En forma particular, el flujo subterráneo ocurre de noroeste a sureste, de oeste a este y de suroeste a noreste, pero la tendencia general es a descargar hacia el noreste, siguiendo la dirección del Río San Juan. En esta unidad de lutitas y areniscas fracturadas las curvas de igual elevación del nivel estático varían de 140 a 215 m sobre el nivel del mar, disminuyendo en elevación de suroeste a noreste, mostrando un flujo subterráneo general en ese mismo sentido. Las elevaciones del nivel estático de la unidad de sedimentos granulares y la de esta unidad fracturada, presentan elevaciones muy similares, por lo que se puede suponer, sobre todo donde ambas unidades funcionan como acuíferos libres, que funcionan como una sola unidad.

En el medio granular las curvas de igual evolución del nivel estático varían de -1 a 1 m en la zona de Los Ramones-Los Herrera, al este-noreste del acuífero, mientras que en la zona de China-Doctor Coss, las curvas varían de -4 a 1 m, mostrándose los valores negativos en China y Doctor Coss, mientras que los valores de cero evolución o positivos se muestran entre General Bravo y Congregación Cantú. Contrario a lo que sucede en el medio fracturado, en esta unidad se observa una evolución negativa muy cerca de la cortina de la Presa El Cuchillo, probablemente debido al cierre de compuertas de desfogue, a lo que sin duda son muy sensibles los sedimentos depositados a los largo del Río San Juan.

1.33.4.4 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

En el medio granular del acuífero China-General Bravo, la salinidad del agua subterránea varía de regular a buena, ya que la concentración de sólidos totales disueltos, en general, es menor a 1,000 mg/L, con datos puntuales mayores a 2,000 mg/L, relacionados con el medio fracturado. En las lutitas que conforman el acuífero, las concentraciones de Sólidos Disueltos Totales, parecen indicar que hacia la zona sur del acuífero, se incrementan los valores de salinidad en las rocas fracturadas, reflejando una dilución hacia el norte, controlada por la estratificación, ya que todas las formaciones presentan un rumbo nortenoeste del total de las muestras del acuífero, pero con contenidos de sales disueltas que generalmente sobrepasan los 2,000 mg/L.

Con relación a la calidad del agua para uso público urbano, en el agua subterránea de una porción del acuífero China-General Bravo, las concentraciones de los distintos iones se encuentran fuera de los límites máximos permisibles establecidos en la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994.

Las concentraciones de sulfato varían de 10 a 2,713 mg/L, cuando el límite máximo permisible establecido en la Norma referida es de 400 mg/L. El calcio en el acuífero se encontró en concentraciones que varían de 235 a 3,616 mg/L. El sodio se presenta en concentraciones de 5.2 a 1,480 mg/L, siendo el límite permisible de 200 mg/L.

Los cloruros se encontraron en concentraciones que varían de 6.5 a 2,237 mg/L, cuando el límite recomendado es de 250 mg/L. La concentración de nitratos varía de 0.10 a 46.3 mg/L, cuando el límite máximo permisible es de 10 mg/L.

1.34 CITRÍCOLA NORTE

1.34.1 INFORMACIÓN GENERAL

El acuífero Citrícola Norte, clave 1912, se localiza en la porción centro del Estado de Nuevo León, aproximadamente a 56 Km al sureste de la Ciudad de Monterrey, cubre un área de 5,721 Km² y abarca totalmente al Municipio de Allende y parcialmente a los Municipios de Montemorelos, General Terán, Rayones, Galeana, Santiago, Juárez, Los Ramones y Cadereyta Jiménez.

1.34.2 FISIOGRAFÍA

El acuífero Citrícola Norte se localiza en la porción occidental de la Provincia Fisiográfica Planicie Costera del Golfo de México, que colinda con la Subprovincia de Sierras Altas de la Sierra Madre Oriental, caracterizada por la presencia de una compleja cadena montañosa conformada por rocas sedimentarias de origen marino, plegadas y con elevaciones máximas de 2,200 msnm; hacia el oriente existe un acantilado, frente al cual se extiende la Llanura de Linares- Montemorelos, donde se ubica el acuífero, dentro de la Planicie Costera del Golfo.

1.34.3 GEOLOGÍA

Los tipos de roca que afloran son predominantemente sedimentarias marinas, que en conjunto representan un intervalo geológico que abarca del Jurásico Superior al Reciente. Las formaciones del Jurásico Superior y Cretácico Inferior afloran en las sierras de la Sierra

Madre Oriental. Las formaciones del Cretácico Superior afloran tanto en la Sierra Madre Oriental como en la Llanura Linares-Montemorelos.

1.34.3.1 Geología del subsuelo

Se identificaron dos unidades geoelectricas, la primera es correlacionable con el Conglomerado Reynosa (matriz arenosa que empaqueta los fragmentos calcáreos) y/o con Depósitos Aluviales y la segunda se relaciona con la Formación Méndez constituida esencialmente por lutitas y margas.

1.34.4 HIDROGEOLOGÍA

De acuerdo con la composición litológica de las formaciones que constituyen el acuífero se considera que en el relleno aluvial saturado se comporta como un acuífero granular libre. Por su parte en las lutitas fracturadas de la Formación Méndez, funcionan como un acuífero de “doble porosidad”, donde las fracturas mayores son las zonas conductoras principales, alimentadas por las fracturas de menor tamaño. En cambio, la lutita sana constituye propiamente el basamento hidrogeológico del acuífero. En el caso, en que el acuífero tiene ambas componentes, se comporta como del tipo “libre”, con semi-confinamiento inferior.

1.34.4.1 Parámetros hidráulicos

De acuerdo a información de la CONAGUA (2002), los siguientes resultados se obtuvieron de las pruebas de bombeo en 1997.

En la parte noreste de la zona del acuífero se reportan coeficientes de transmisividad que varían entre 0.03×10^{-3} y 2.5×10^{-3} m²/s.

El gasto del bombeo en los ensayos fue de 1 a 15 lps, con promedio de 5 lps, y con abatimientos de 0.26 a 12.9 m. Los caudales específicos varían en el rango de 0.15 a 4.8 lps por cada metro de abatimiento, y guardan cierta proporcionalidad directa con las transmisividades correspondientes.

En la parte noroeste de la zona los valores de transmisividad, alternan en el rango de 0.00017 a 0.0132 m²/s.

1.34.4.2 Profundidad del nivel estático

La profundidad al nivel de saturación, medida desde la superficie del terreno, varía de 5 a 20 m; las menores profundidades se observan en las cercanías de los arroyos Garrapatas y Pilón y la profundidad aumenta hacia los lomeríos que separan ambos valles, por efecto de la topografía.

1.34.4.3 Elevación del nivel estático

La elevación al nivel de saturación, medida a partir del nivel del mar varía entre 270 y 300 msnm, en la porción noroeste del acuífero y decrece desde las estribaciones de la Sierra Madre Oriental hacia las partes bajas del valle, por lo que la dirección de flujo del agua subterránea es del suroeste al noreste.

1.34.4.4 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

La concentración de sólidos totales disueltos en el acuífero Citrícola Norte varía de 714 a 3,243 mg/L, la salinidad aumenta en dirección del flujo subterráneo, ya que se presentan las menores concentraciones al suroeste, en los poblados Valle Hidalgo, Carrizalejo, La Ventura, Pueblo Nuevo, California y El Milagro y se incrementa hacia el noreste. El agua

subterránea de algunas captaciones rebasa en sólidos totales disueltos, hierro, nitrato y calcio los límites máximos permisibles en la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994.

1.35 CUATROCIÉNEGAS

1.35.1 INFORMACIÓN GENERAL

El acuífero Cuatrociénegas, clave 0528, se localiza en la porción central del Estado de Coahuila, a unos 65 Km al poniente de la ciudad de Monclova, está comprendido en el Municipio del mismo nombre y tiene una extensión superficial aproximada de 1,389 Km².

1.35.2 FISIOGRAFÍA

1.35.3 GEOLOGÍA

En las sierras afloran rocas calcáreas de edad Cretácica, formadas en el fondo de mares antiguos en épocas geológicas en que la mayor parte del actual territorio mexicano estaba cubierto por el mar. Estas rocas forman pliegues anticlinales y sinclinales, correspondiendo los primeros a las sierras y los sinclinales más profundos a los valles. Las calizas arrecifales, principalmente expuestas en la sierra de San Marcos y Pinos, por ser más porosas, fracturadas y solubles, propician la infiltración de gran parte del agua de lluvia y recargan a los acuíferos. En contraste, otras rocas, que subyacen a las anteriores y que afloran en las sierras y en el Potrero de San Marcos –entre los valles de El Hundido y Cuatrociénegas-, son prácticamente impermeables, por lo que constituyen barreras que impiden el almacenamiento y el flujo del agua subterránea.

1.35.3.1 Geología del subsuelo

El Cuatrociénegas, está conformado por rocas calcáreas y clásticos no consolidados. Las primeras pertenecen al Grupo Washita Indiferenciado y a la Formación Aurora; afloran en las sierras circundantes, y se caracterizan por su gran porosidad y permeabilidad secundaria, asociadas con fracturas, planos de estratificación y conductos de disolución, y subyacen a calizas arcillosas de la Formación Eagle Ford que a través de sus fracturas permite el ascenso del agua subterránea.

1.35.4 HIDROGEOLOGÍA

La recarga natural del acuífero tiene lugar por infiltración de la lluvia en los afloramientos de calizas acuíferas y de los escurrimientos superficiales a lo largo de los arroyos. La principal zona receptora de recarga es la sierra de San Marcos y Pinos, estructura anticlinal muy alargada y de gran extensión superficial, donde afloran las calizas arrecifales, que son las rocas de mayor capacidad de infiltración. Esta sierra, ubicada en la porción central de la cuenca, divide al valle parcialmente en dos sectores, oriental y occidental, comunicados en la porción norte de la misma.

1.35.4.1 Parámetros hidráulicos

La configuración de niveles estáticos revela que el agua subterránea circula en el relleno acuífero, de los flancos de las sierras hacia las partes bajas de los valles, de una elevación de 780 msnm, en el borde occidental del valle, a una de 700 msnm, en el sector oriental del mismo.

Actualmente, la profundidad al nivel freático es menor que 5 m en las partes bajas del valle y aumenta con la elevación topográfica hacia los flancos de las sierras de La Fragua y de La Purísima.

1.36 CARMEN – SALINAS - VICTORIA

1.36.1 INFORMACIÓN GENERAL

El acuífero El Carmen-Salinas-Victoria, clave 1924, se localiza en la porción central del Estado de Nuevo León, a 35 Km al norte de Monterrey, este sistema acuífero abarca una extensión de 3,618 Km² de superficie total. Geopolíticamente comprende en su totalidad los municipios de El Carmen, Ciénega de Flores, General Zuazua y Pesquería y parcialmente los municipios Marín, Salinas Victoria, Hidalgo, Abasolo, General Escobedo, Apodaca, Higuera, Doctor González, Los Ramones, Cadereyta Jiménez, Juárez, Mina y García.

1.36.2 FISIOGRAFÍA

La zona se ubica en dos provincias fisiográficas denominadas Sierra Madre Oriental y Llanera Costera del Golfo Norte.

1.36.3 GEOLOGÍA

Las rocas que afloran en el área son exclusivamente sedimentarias, cuyas edades varían del Jurásico Superior al Holoceno.

1.36.3.1 Geología del subsuelo

El acuífero está conformado por lutitas arenosas calcáreas y en las zonas de recarga por calizas. Las lutitas arenosas calcáreas son de baja permeabilidad, por lo que la velocidad del agua subterránea es lenta y la producción de los pozos es reducida. Mientras que las calizas debido al fracturamiento y a las oquedades de disolución favorecen la recarga del acuífero.

1.36.4 HIDROGEOLOGÍA

El acuífero Carmen-Salinas-Victoria es clasificado como un acuífero semiconfinado que se extiende hacia el sur y sureste en los acuíferos conocidos como Área Metropolitana de Monterrey y Citrícola Norte.

1.36.4.1 Parámetros hidráulicos

El sistema acuífero está constituido por lutitas calcáreas y margas en donde el porcentaje de arcilla varía ampliamente y como consecuencia de esto existe una porosidad secundaria muy marcada. Las conductividades hidráulicas varían de 0.02 a 1.83 m/día, siendo el promedio de 0.54 m/día. Valores más altos, entre 17.71 y 43.37 m/día, se asocian a rocas carbonatadas con permeabilidad secundaria por fracturamiento y disolución.

En general, los valores obtenidos de transmisividad varían de 3×10^{-4} a 9×10^{-6} m²/s.

1.36.4.2 Profundidad del nivel estático

La profundidad al nivel de saturación, medida desde la superficie del terreno, varía entre 10 y 15 m en la planicie, mientras que hacia las proximidades de las sierras la profundidad aumenta, hasta alcanzar 40 m, incluso en algunas zonas del noroeste, en la sierra de Gomas alcanza 100 m de profundidad (Figura 1.1.63).

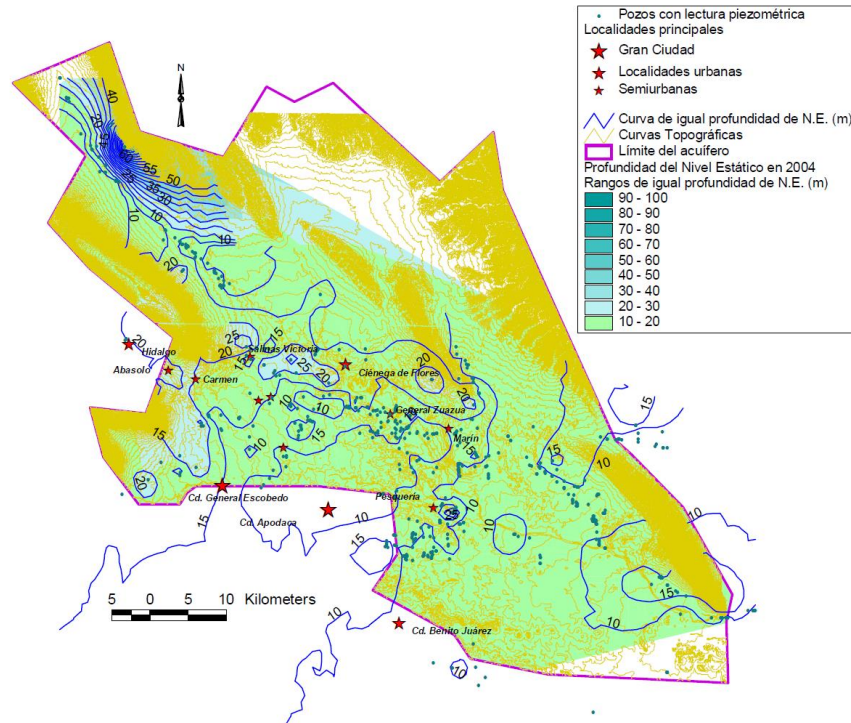


Figura 1.1.63. Profundidad al nivel estático (2004)

1.36.4.3 Elevación del nivel estático

La dirección principal del flujo del agua subterránea es de noroeste a sureste, ya que las mayores elevaciones del nivel de saturación respecto al nivel del mar al noroeste son de 650 msnm y disminuyen hasta 220 msnm en la porción sureste (Figura 1.1.64).

Para este periodo se observan abatimientos de hasta 7 m y zonas con recuperación de hasta 14 m, con promedio de 1.7 m anuales de abatimiento para el periodo, lo que representa una recuperación de 0.85 m/año (Figura 1.1.65).

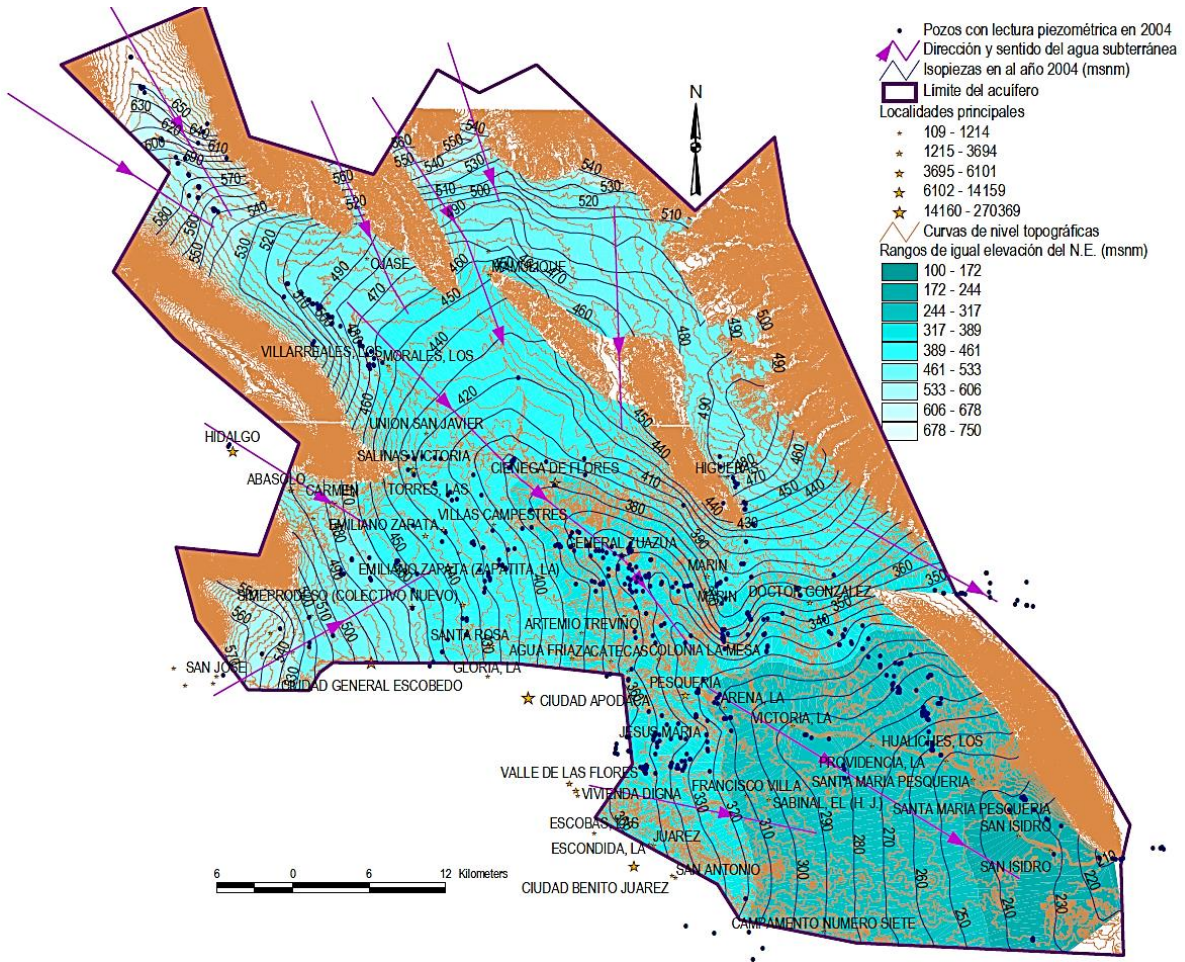


Figura 1.1.64. Elevación del nivel estático, 2004

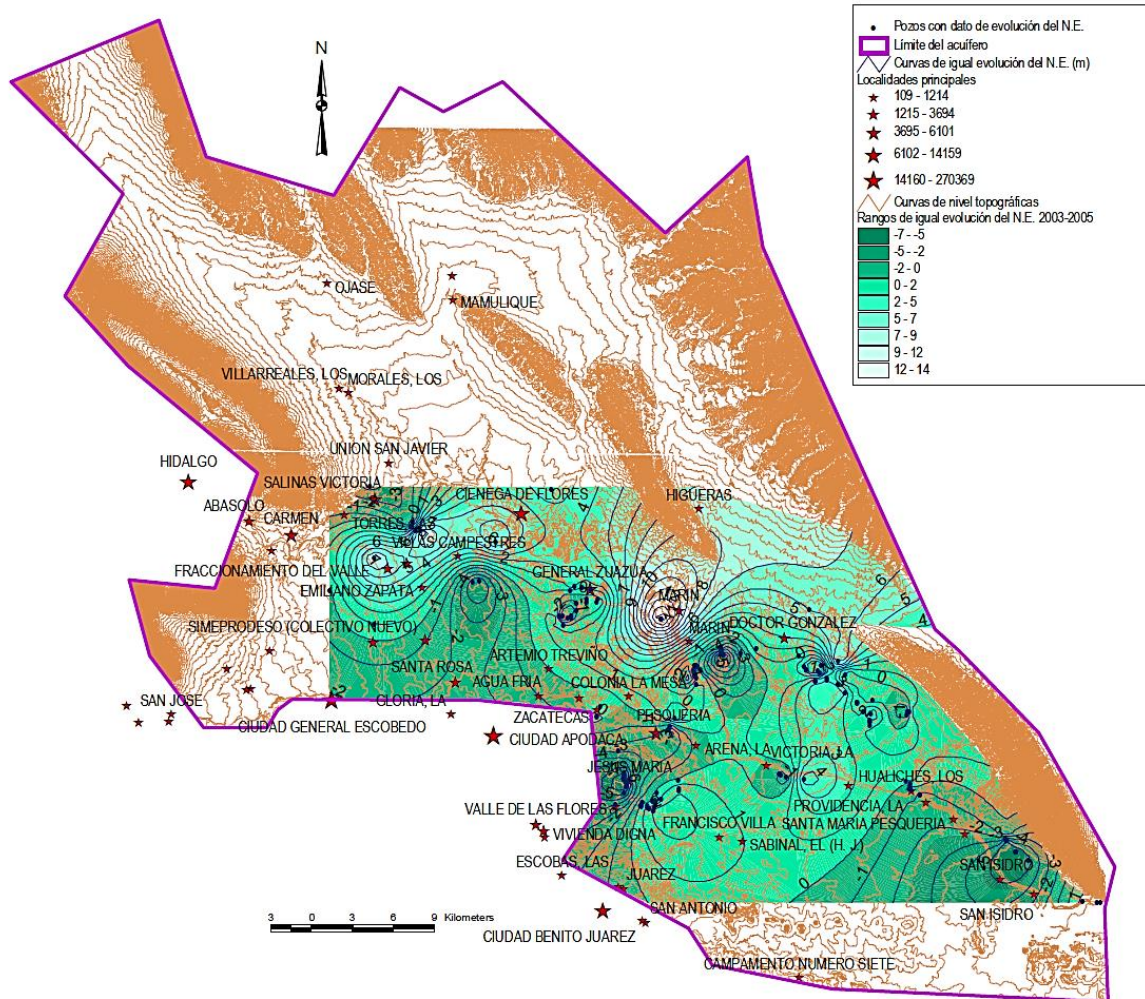


Figura 1.1.65. Evolución del Nivel Estático (2003-2004)

1.36.4.4 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

La salinidad del agua subterránea aumenta con la dirección de flujo hacia el centro del valle, donde alcanza concentraciones de sólidos totales disueltos superiores a los 2,000 y 4,000 mg/L, que rebasa el límite máximo permisible establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994.

1.37 GENERAL CEPEDA-SAUCEDO

1.37.1 INFORMACIÓN GENERAL

El acuífero General Cepeda-Sauceda, clave 0505, se localiza en la parte sur del estado de Coahuila, cubriendo un área aproximada de 3,520 Km². El acuífero comprende los municipios de Parras de la Fuente, General Cepeda, Ramos Arizpe y Saltillo.

1.37.2 FISIOGRAFÍA

El acuífero General Cepeda-Sauceda se encuentra dentro de la subprovincia fisiográfica Sierras Transversales, que forma parte del conjunto de rocas plegadas de la Provincia Sierra Madre Oriental.

1.37.3 GEOLOGÍA

Las rocas que conforman la columna sedimentaria del área estudiada a semidetalle corresponde a las Formaciones: Tamaulipas Superior-Cuesta del Cura, Indidura y Parras, las cuales se encuentran cubiertas discordantemente por las Unidades del Cuaternario: Terrazas Continentales, Talud y Aluvión.

1.37.3.1 Geología del subsuelo

El acuífero General Cepeda-Sauceda está constituido por depósitos de gravas y arenas producto de la erosión de las rocas que conforman las sierras, con espesores máximos de 60 m, y por calizas cuya alta permeabilidad se debe tanto a la textura de las rocas, como al fracturamiento y disolución de las mismas. Las rocas con predominio de material arcilloso, de muy baja permeabilidad, funcionan como barreras al paso del agua, excepto cuando están fracturadas y afectadas por fallamientos.

1.37.4 HIDROGEOLOGÍA

1.37.4.1 Parámetros hidráulicos

En el territorio que cubre el acuífero no se han realizado pruebas de bombeo para la determinación de las propiedades hidráulicas del acuífero.

1.37.4.2 Profundidad del nivel estático

La profundidad al agua subterránea en el año 1984, medida desde la superficie del terreno, presentó valores desde 5 m en la zona de Parras, hasta 30 m, teniendo los niveles más someros en la zona de Parras de la Fuente (Figura 1.1.66)

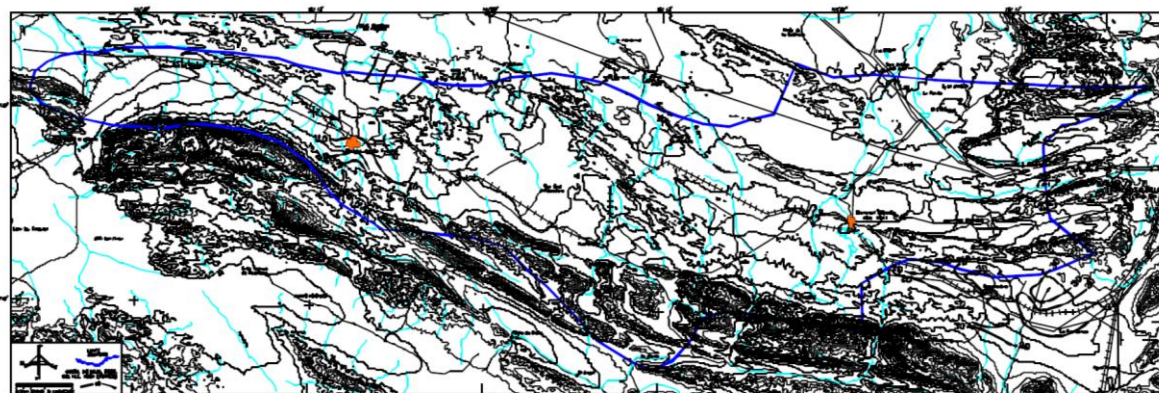


Figura 1.1.66. Profundidad del nivel estático, 1984

1.37.4.3 Elevación del nivel estático

La elevación del nivel estático durante 1984, se presentaron valores entre 1,800 msnm en la porción sureste a 1,260 msnm al noroeste (Figura 1.1.67). Por lo que se infiere que el agua subterránea fluye de sureste a noroeste y que existe entrada subterránea al acuífero desde el sureste y salida subterránea hacia el noroeste.

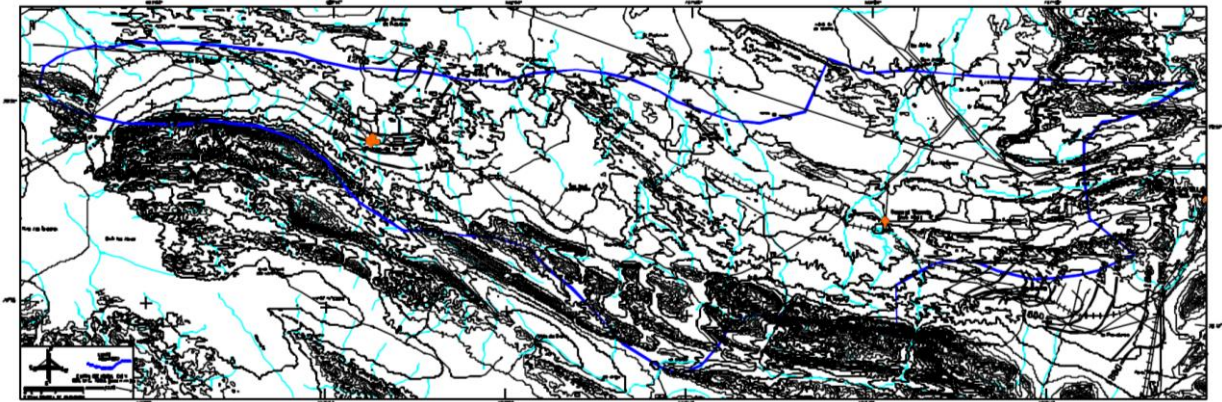


Figura 1.1.67. Elevación de los niveles estáticos, 1984

1.37.4.4 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

1.38 JIMÉNEZ - CAMARGO

1.38.1 INFORMACIÓN GENERAL

El acuífero Jiménez-Camargo, clave 0832, se localiza en la porción Sur del estado de Chihuahua, y abarca un área de 9,947.7 Km². Comprende parcialmente a los municipios de Jiménez, Camargo, López, Allende, Coronado, Matamoros y una pequeña porción de San Francisco de Conchos, Saucillo y La Cruz.

1.38.2 FISIOGRAFÍA

El acuífero Jiménez-Camargo, clave 0832, se ubica en la Provincia Fisiográfica de la Mesa Central del Norte de México, que consiste en una altiplanicie inclinada con grandes llanuras y bolsones rodeados de grandes elevaciones, el acuífero se encuentra dentro de la provincia de Cuencas y Sierras (sierras y valles) que se caracteriza por presentar amplias llanuras separadas por unidades orográficas de rumbo nornoroeste-sursureste, respectivamente.

1.38.3 GEOLOGÍA

En el acuífero Jiménez-Camargo, las rocas que afloran en la superficie son en mayor proporción los materiales aluviales depositados en el valle, mientras que en las sierras afloran rocas ígneas como riolita y basalto muy fracturado, así como calizas también muy fracturadas.

Durante el Jurásico Superior la región de Chihuahua era una cuenca marina conocida como cuenca de Chihuahua. En esta etapa hubo una transgresión marina que dio lugar al

depósito de materiales evaporíticos como sal y yeso. A principios del Cretácico continuó la sedimentación marina con el depósito de calizas, lutitas y areniscas que conforman a las Formaciones

Aurora e Indidura. Durante el Cretácico Superior la sedimentación terrígena en la región de Chihuahua marca el levantamiento y la actividad volcánica de la porción occidental de México.

El acuífero también se compone de rocas sedimentarias e ígneas, siendo las sedimentarias las que ocupan mayor extensión; las rocas cretácicas marinas son las que permiten determinar la base de la secuencia estratigráfica. Entre las rocas sedimentarias más antiguas del Cretácico destacan la Formación Aurora, compuesta por una serie de calizas, que subyace a la Formación Indidura, la cual consta de alternancias de lutitas, calizas arenosas y calizas laminares.

1.38.3.1 Geología del subsuelo

El acuífero Jiménez-Camargo, está conformado por depósitos aluviales que rellenan los valles, que están compuestos principalmente por gravas y arenas que constituyen el acuífero más importante de la región y que presenta alta permeabilidad y transmisividad.

Cuando presentan fracturamiento pueden adquirir condiciones de permeabilidad secundaria muy variable. Las rocas andesitas y tobas andesíticas se comportan como impermeables por su constitución litológica. Las riolitas y las tobas riolíticas poseen permeabilidad un poco mayor, pero los basaltos generalmente se encuentran muy fracturados, por lo que son buenos transmisores del agua y además pueden estar interdigitados con sedimentos aluviales.

1.38.4 HIDROGEOLOGÍA

El acuífero corresponde preferentemente a un medio granular, que rellena las depresiones formadas por los esfuerzos de compresión y de distensión de rocas antiguas como calizas. Las rocas ígneas intrusivas por su origen, textura y fracturamiento poco profundo constituyen barreras impermeables, especialmente cuando se encuentran sanas.

El acuífero obtiene su recarga a partir de la infiltración de agua de lluvia, que precipita tanto en las zonas altas del área de estudio como en las partes bajas del valle; de la infiltración de parte del agua que escurre por los ríos, principalmente los ríos Florido y Parral, así como por entradas por flujo horizontal subterráneo del agua infiltrada en las sierras y partes altas que alimentan al acuífero granular hacia el valle.

1.38.4.1 Parámetros hidráulicos

En el territorio que cubre el acuífero no se han realizado pruebas de bombeo para la determinación de las propiedades hidráulicas del acuífero.

1.38.4.2 Profundidad del nivel estático

La profundidad al nivel estático en el acuífero Jiménez-Camargo en el año de 1971 oscilaba entre 5 y 80 m; en el año 1988 la variaba de 5 a 90 m, con valores de 5 m cerca del poblado de Villa López y los máximos de 90 m, se encontraban en las cercanías de la Colonia Búfalo.

La profundidad al nivel estático en el año 1997, oscilaba entre 10 y 110 m. Para el año 2008 se observa que aguas arriba de Ciudad Jiménez, la profundidad al nivel estático variaba de 5 a 20 m y entre esta parte y Ciudad Camargo eran en su mayoría, de 40 a 50 m.

1.38.4.3 Elevación del nivel estático

En el año 1988, el flujo del agua subterránea predominante sigue la dirección de las corrientes superficiales, se aprecia además una zona de depresión de la superficie piezométrica, con un valor mínimo de 1,300 msnm, donde el flujo es radial en el área de la Colonia Búfalo y otra depresión piezométrica situada al sureste de la población de Camargo con una cota mínima de 1,210 msnm; otro cono de abatimiento se localiza hacia el norte del poblado de Jiménez.

Durante el 2008, la elevación de los niveles estáticos manifestaba que el flujo subterráneo presentaba una dirección predominante de sur a norte, que coincidía sensiblemente con las direcciones del flujo de los ríos Florido y Parral, con un gradiente hidráulico subterráneo suave en las porciones central y norte de la planicie, mientras que en su parte sur, sus gradientes se incrementan considerablemente coincidiendo con la topografía.

En la evolución del nivel estático para el periodo 1962-1971, se observa que los abatimientos tienen valores de -5 a -10 m; durante el periodo 1972-1988, se muestra que el acuífero continuaba siendo sobreexplotado, al presentar abatimiento de hasta -3.0 m anuales; en el periodo 1995-1997, se observan abatimientos máximos de -4 m al norte de la Ciudad de Jiménez; y finalmente, para el año 2008 se detectó un ritmo de abatimiento -1.5 a -2.0 m anuales.

1.38.4.4 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

En general, el agua de este acuífero se caracteriza por su alto contenido de sales, derivado principalmente de la circulación en el subsuelo a través de rocas sedimentarias de alta solubilidad.

La concentración de sólidos totales disueltos en el agua subterránea del acuífero Jiménez-Camargo, varía de entre 500 y 4,000 mg/L.

Las concentraciones del ion sulfato en el agua subterránea del acuífero varían entre 100 y 2,500 mg/L. Las menores concentraciones se presentan en la porción sur del acuífero, y las mayores concentraciones al norte del acuífero, en las inmediaciones de la población de Jiménez y en las estibaciones occidentales de la Sierra de Las Pampas.

En general, las concentraciones de sulfatos que predominan en el acuífero se encuentran entre 500 y 1,500 mg/L, originada principalmente de la disolución de yeso y anhidrita.

Respecto a la calidad del agua subterránea para consumo humano, algunos de los parámetros rebasan los límites máximos permisibles establecidos en la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994.

1.39 LAMPAZOS – VILLA ALDAMA

1.39.1 INFORMACIÓN GENERAL

El acuífero Lampazos-Villaldama, clave 1901, se ubica en la porción noroeste del Estado de Nuevo León. El acuífero tiene una extensión territorial de 2,083 Km², y comprende parcialmente a los municipios de Villaldama, Lampazos de Naranjo, Bustamante, Salinas Victoria, Sabinas de Hidalgo y Mina. Administrativamente corresponde a la Región Hidrológico-Administrativa Río Bravo.

1.39.2 FISIOGRAFÍA

Fisiográficamente la superficie del acuífero Lampazos-Villaldama, se ubica en la provincia de la Sierra Madre Oriental, muy cerca de la planicie Costera del Golfo de México en su límite oriental. En la parte más oriental del acuífero queda la zona de Piamonte o de serranías y cerros y en la franja central con dirección nornoroeste a sursureste hasta la porción más occidental, se ubican las sierras y valles de la Sierra Madre Oriental.

1.39.3 GEOLOGÍA

Litológicamente la superficie del acuífero Lampazos-Villaldama, está constituida principalmente por rocas sedimentarias que varían en edad del Jurásico al Cuaternario, con un gran predominio de rocas de edad cretácica en las sierras, predominando las rocas calizas y alternancias de calizas-lutitas. Toda la columna sedimentaria de origen marino se encuentra intrusionada por rocas de composición granodiorítica. En el valle del acuífero predomina el material aluvial y se presentan pequeñas porciones de conglomerados.

Las estructuras más significativas que se generaron en la región son pliegues simétricos y asimétricos con ejes orientados preferentemente noroeste-sureste. Asociadas a estos pliegues se desarrollaron cabalgaduras cortas paralelas a los ejes de los pliegues, fuera del área del acuífero, cerca de su límite occidental. Se desarrollan también, cabalgaduras y fallas inversas producidas por la inyección de yesos en diapiros.

La deformación frágil está representada por fallas de desplazamiento lateral y normal, con direcciones generales noroeste-sureste.

En la sección geológica que cruza las estructuras perpendicularmente, con una orientación suroeste-noreste, nos muestra claramente las estructuras geológicas de la zona sur del acuífero que pueden ser representativas de toda la región.

1.39.4 HIDROGEOLOGÍA

El acuífero Lampazos-Villaldama, está constituido por tres unidades acuíferas:

- 1) la más somera conformada por material granular que funciona como libre, con espesores del orden de 30 m y de bajo potencial geohidrológico;
- 2) una unidad conformada por un medio fracturado que se presenta en lutitas fracturadas de la Formación Méndez, que generalmente se aprovecha en conjunto con el acuífero granular y es de potencial bajo; y
- 3) calizas de las Formaciones Cupido y Aurora, y lutitas y calizas de la Formación Austin, que pueden tener desde bajo hasta muy alto potencial geohidrológico.

1.39.4.1 Parámetros hidráulicos

En el territorio que cubre el acuífero no se han realizado pruebas de bombeo para la determinación de las propiedades hidráulicas del acuífero.

1.39.4.2 Profundidad del nivel estático

Durante el año 2013, la profundidad del nivel estático oscilaba entre 2 hasta 23.69 m siendo este último el más profundo, aunque en años anteriores de mayor sequía, el nivel estático máximo presentó profundidades de 43.57 m.

1.39.4.3 Elevación del nivel estático

En el sur del acuífero las curvas inician con una elevación del nivel estático de 500 msnm, disminuyendo hacia el norte y descargando a través del Arroyo Palo Blanco, con la curva de 460 msnm; en la zona de Villaldama el acuífero descarga hacia el Río Sabinas con la curva de 400 msnm. Al norte de Villaldama las curvas inician su flujo al norte, con una elevación de 480 msnm, formando un parteaguas que divide el flujo hacia el norte y hacia el sur; a partir de esta curva de 480 msnm, las curvas disminuyen en forma continua hasta su descarga en Lampazos a través de la curva de 320 msnm. En general, para la piezometría del 2013, la componente principal del flujo subterráneo es de sur a norte, aunque en la parte sur del acuífero, a la altura del Arroyo Palo Blanco, el flujo toma dirección hacia el este, siguiendo el curso del arroyo, al norte de este arroyo, el flujo subterráneo sigue con rumbo norte hasta Villaldama donde de nuevo toma rumbo al este, siguiendo el curso del Río Sabinas para descargar hacia el acuífero Sabinas-Parás, a través del cañón que une Villaldama con Sabinas Hidalgo. Un poco más al norte de Villaldama, a partir del poblado de El Molcajete, el flujo subterráneo sigue con rumbo norte, hacia la población de Lampazos, siguiendo hacia el norte en dirección del acuífero Lampazos-Anáhuac.

1.39.4.4 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

En el medio granular del acuífero Lampazos-Villaldama, la salinidad del agua subterránea varía de regular a buena, ya que la concentración de sólidos totales disueltos, en general, es menor a 1,000 mg/L, con datos puntuales mayores a 2,000 mg/L, relacionados con el medio fracturado. La salinidad en las calizas, es baja, con reducida concentración de sodio, apta para todo uso. En las lutitas que conforman el acuífero, las concentraciones de sólidos totales disueltos se incrementan de sur a norte, en la misma dirección del flujo subterráneo, pero con contenidos de sales disueltas que generalmente sobrepasan los 1,000 mg/L.

Con relación a la calidad del agua para uso público urbano, las concentraciones de sulfato varían de 10 a 65 mg/L, lo cual indica que su concentración es realmente baja. El calcio en el acuífero se encontró en concentraciones que van de 198 a 440 mg/L. El sodio se presenta en concentraciones de 10 a 28 mg/L, lo cual significa que este parámetro presenta bajas concentraciones. Los cloruros se encontraron en concentraciones que varían de 5 a 48 mg/L, que son valores realmente bajos. La concentración de nitratos varía de 0.11 a 9.8 mg/L. Por lo anterior, la concentración de los distintos iones se encuentran dentro de los límites máximos permisibles establecidos en la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 con excepción de la concentración de sólidos totales disueltos en aquellas captaciones que superan los 1,000 mg/L.

1.40 MEOQUI-DELICIAS

1.40.1 INFORMACIÓN GENERAL

El acuífero Meoqui-Delicias, clave 0831, se localiza en la porción central del Estado de Chihuahua y abarca una superficie de 4,830 Km², comprende a los municipios de Saucillo, Julimes, Delicias, Meoqui, Rosales, La Cruz, San Francisco de Conchos, Camargo, Valle de Zaragoza y Chihuahua. Administrativamente, el acuífero corresponde a la Región Hidrológico-Administrativa Río Bravo.

1.40.2 FISIOGRAFÍA

El acuífero Meoqui-Delicias, se encuentra emplazado en la Provincia Fisiográfica Sierras y Cuencas Cerradas del Norte, misma que se caracteriza por contener áreas desérticas, en las cuales se levantan sierras plegadas y falladas de manera dispersa, separadas por amplias llanuras rellenas de amplios espesores de depósitos aluviales y lacustres, llamados bolsones, con orientación general noroeste-sureste.

1.40.3 GEOLOGÍA

En el acuífero Meoqui-Delicias, la secuencia estratigráfica está integrada por rocas sedimentarias marinas y continentales e ígneas, que comprenden un registro cronoestratigráfico desde el Paleozoico hasta el Reciente. Del Cretácico Inferior están presentes lutitas, areniscas y calizas con intercalaciones de yesos, que en general funcionan como unidades impermeables. La Formación Aurora está constituida por calizas fracturadas y con conductos de disolución, que en ocasiones llegan a formar verdaderas cavernas. La Formación Aurora tiene un gran interés geohidrológico por su alto potencial geohidrológico, debido a su elevada permeabilidad. Como consecuencia de la Orogenia Laramide, ocurrida a finales del Cretácico Superior y principios del Terciario Inferior, la columna sedimentaria del Cretácico está plegada en anticlinales y sinclinales, y fuertemente fallada. Las rocas ígneas de composición félsica emergieron de una primera etapa del vulcanismo posterior a la Orogenia Laramide e inmediatamente después se inicia la segunda etapa del vulcanismo, representado por la expulsión de basaltos y andesitas, a la vez que las riolitas y tobas riolíticas eran intrusionadas por diques de composición andesítica. Durante el Cuaternario se depositaron sedimentos de ambientes fluviales, aluviales, lacustres y de llanuras de inundación.

1.40.3.1 Geología del subsuelo

El acuífero Meoqui-Delicias, está conformado por un medio poroso granular heterogéneo y anisotrópico, constituido por depósitos sedimentarios continentales no consolidados, que tienen su origen principalmente, en ambientes de tipo aluvial, fluvial y lacustre, que rellenan una fosa tectónica.

1.40.4 HIDROGEOLOGÍA

El acuífero es del tipo libre, salvo en la zona noroeste, cerca de Meoqui, donde cuerpos arcillosos propician semiconfinamiento local. La conductividad hidráulica del acuífero varía dependiendo de la granulometría de los sedimentos y del grado de consolidación.

La recarga del sistema acuífero se da principalmente por la infiltración de aguas provenientes de las corrientes superficiales dentro del valle, como lo son canales de distribución y, a nivel parcelario, la infiltración de excedentes de riego. La dirección del flujo subterráneo ocurre principalmente de sur a norte.

1.40.4.1 *Parámetros hidráulicos.*

En el territorio que cubre el acuífero no se han realizado pruebas de bombeo para la determinación de las propiedades hidráulicas del acuífero.

1.40.4.2 *Profundidad del nivel estático*

Del año 1997 al 2002, se ha observado que la profundidad al nivel estático se incrementó en 10 m. Para el año 2002, la profundidad variaba desde los 3 hasta los 130 m. En la zona de Meoqui, en el año 1972, el nivel estático se encontraba casi en la superficie.

En el año 1996 la profundidad se hallaba a 10 m, la configuración mostró que los valores más altos se localizaban en la zona de la Colonia Oribe de Alba así como en las cercanías de la Colonia Lázaro Cárdenas (Figura 1.1.68).

En el año 2005, ya alcanzaba los 30 m de profundidad (Figura 1.1.69). Para el año 2005 las profundidades al nivel alcanzaron casi 150 m en la zona de la Colonia Oribe de Alba.

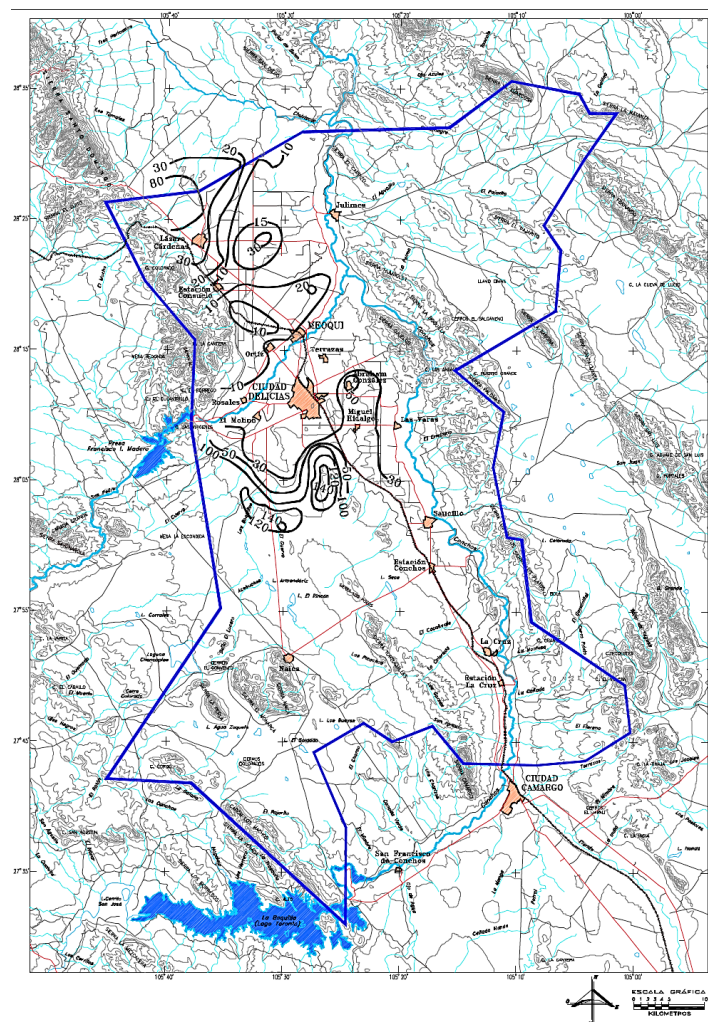


Figura 1.1.68. Profundidad al nivel estático, 1996

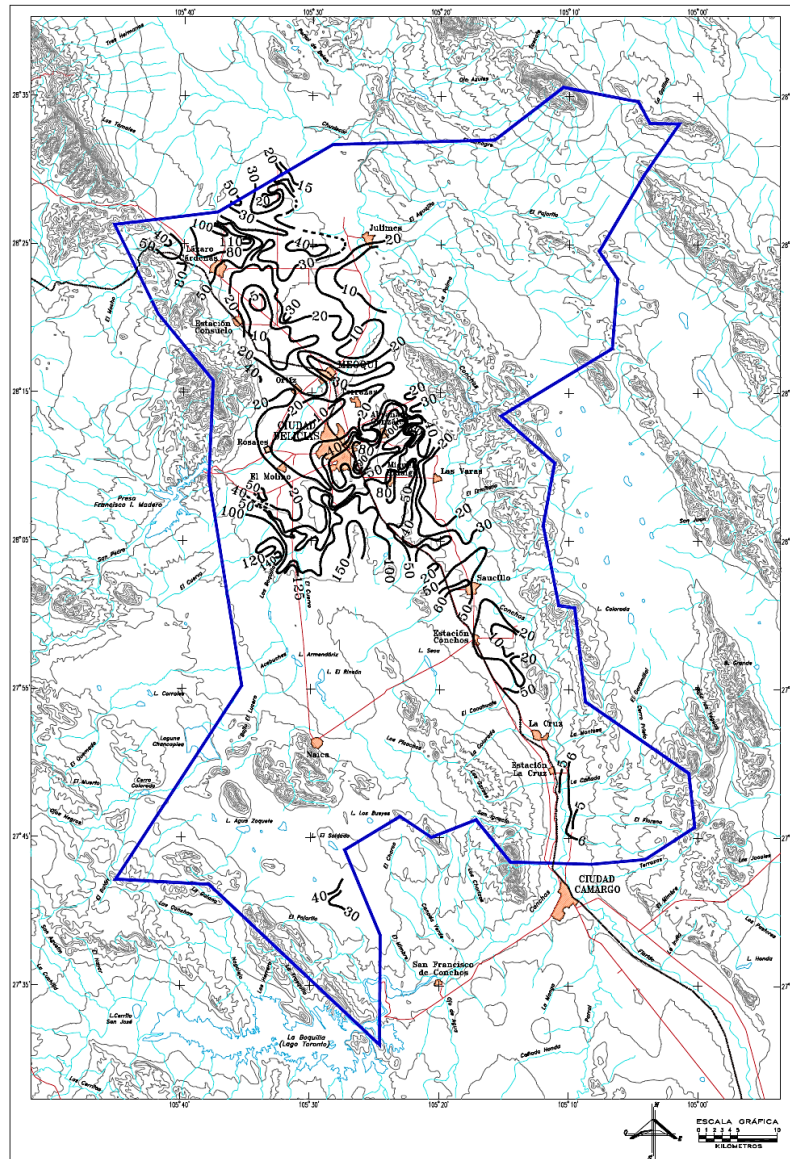


Figura 1.1.69. Profundidad al nivel estático 2005

1.40.4.3 Elevación del nivel estático

En el año 1997, se obtuvo una elevación del nivel estático mínima de 1,100 msnm y una máxima de 1,190 msnm en la parte centro-norte del acuífero, entre los ríos San Pedro y Conchos, donde se encuentra la zona de riego, y se infiltran los excedentes de riego propiciando que el nivel estático se encuentre más elevado.

En la configuración del nivel estático para el año 2002, se aprecia la formación de varios conos de abatimiento que modifican la dirección de flujo subterráneo, presentándose un nivel máximo de 1,180 msnm y un mínimo de 1,100 msnm.

Para el año 2005, el nivel estático variaba desde 1,100 a 1,182 msnm y se aprecian conos de abatimiento, que modifican la dirección del flujo subterráneo; en la zona de Meoqui, el abatimiento ha alcanzado casi 30 metros sin embargo, se muestran distorsiones por bombeo en las inmediaciones de las Colonias Oribe de Alba y Lázaro Cárdenas (Figura 1.1.70 y Figura 1.1.71). La elevación máxima del nivel estático se presenta en la porción central del área de estudio, entre los Ríos San Pedro y Conchos.

Respecto a la evolución del nivel estático, del año 1997 al 2006, se observó una disminución del nivel estático de aproximadamente 8.0 m, debido a la extracción en la zona agrícola de la región y la poca infiltración en ese periodo, lo que generó conos de abatimiento.

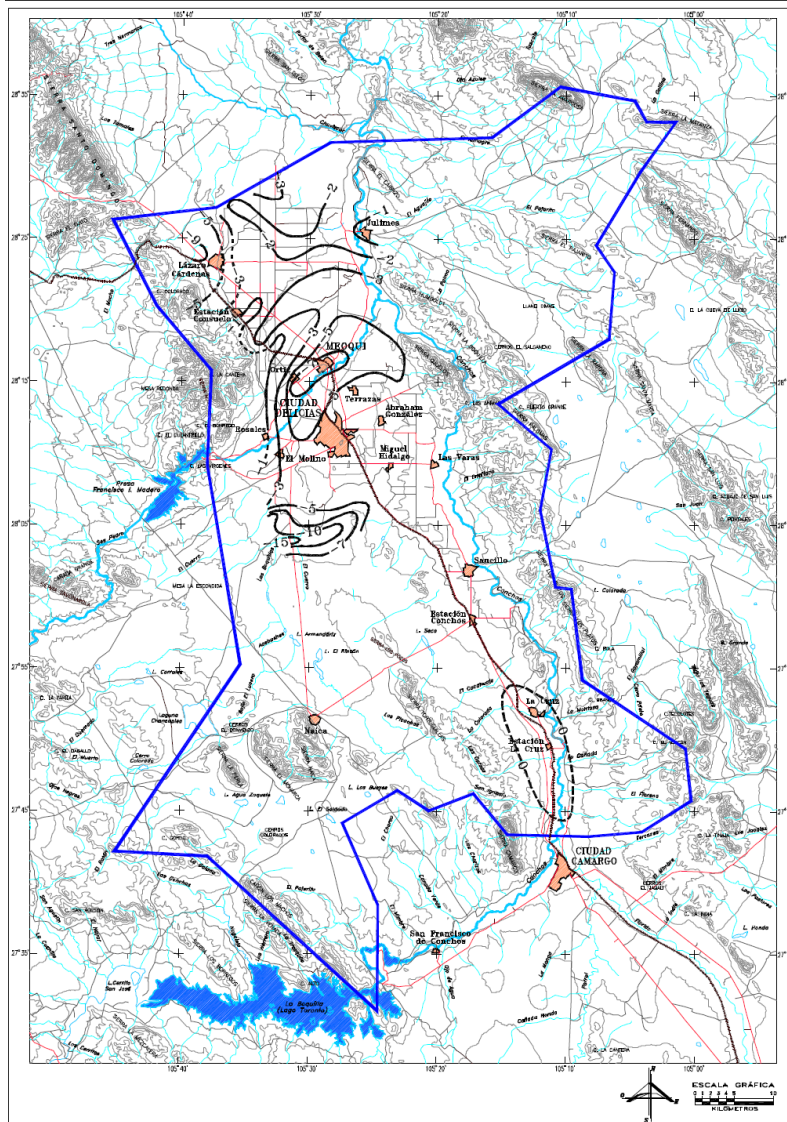


Figura 1.1.70. Curvas de igual elevación del nivel estático 2005

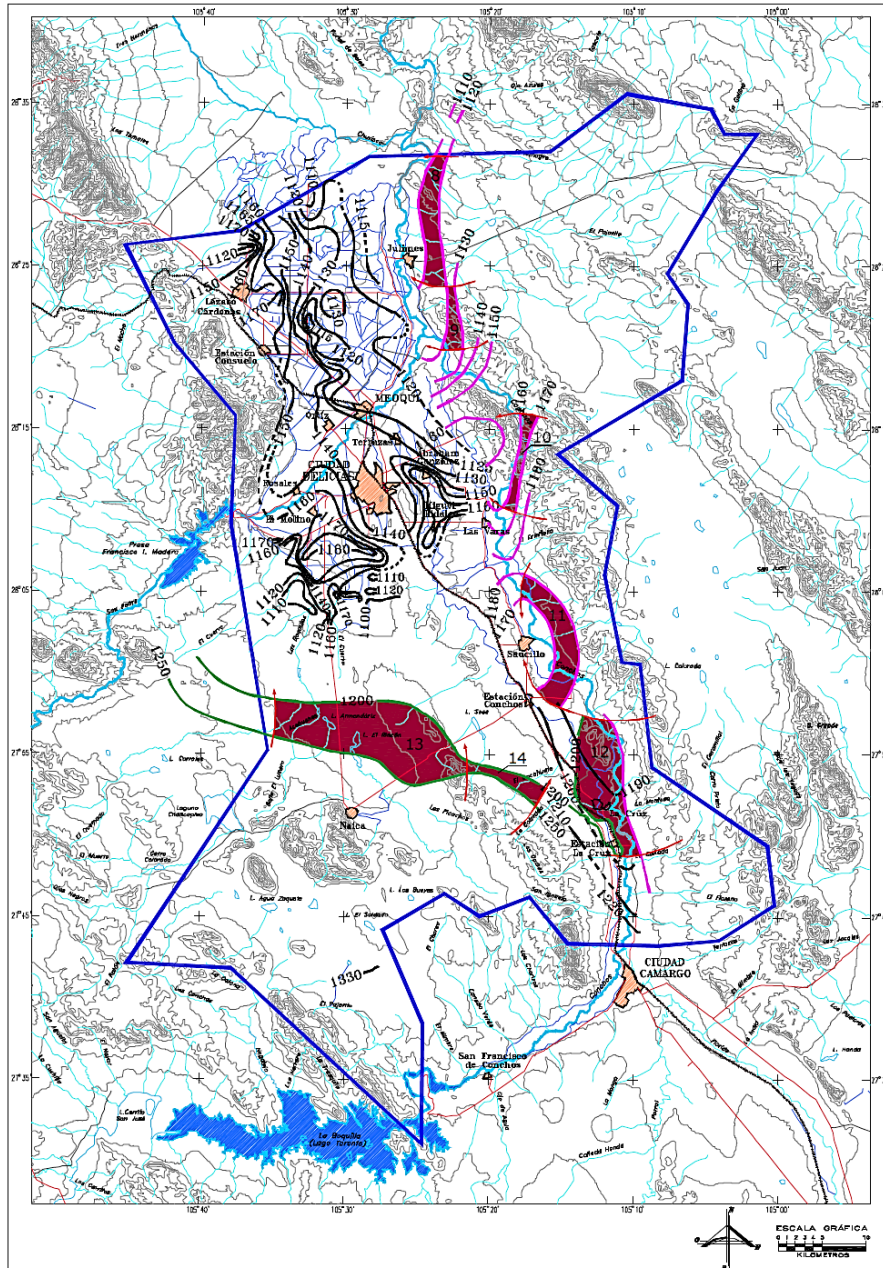


Figura 1.1.71. Curvas de igual elevación del nivel estático 2005 (incluye datos de curvas correspondientes al año 1972 en color verde en el sur, así como línea finamente punteada en la parte oriente de color guinda)

1.40.4.4 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

En el acuífero Meoqui-Delicias, predomina el agua de tipo sulfatada-cálcica en la zona ubicada entre el canal principal y el Río San Pedro; bicarbonatada-cálcica entre el canal principal San Pedro, el cauce del Río San Pedro y el Arroyo Bachimba, y bicarbonatada-sódica entre el Arroyo Bachimba y el Río Chuiscar.

En la zona noroeste del acuífero predominan un grupo del tipo de aguas bicarbonatadas sódicas y con un mínimo de muestras distribuidas en la parte centro y norte se encuentran el tipo de aguas bicarbonatadas cálcicas.

1.41 MONCLOVA

1.41.1 INFORMACIÓN GENERAL

El acuífero Monclova, clave 0507, se localiza en la parte centro-oriental del Estado de Coahuila, abarca una superficie de 13,525 Km², y comprende totalmente a los Municipios Monclova, Frontera, Candela, San Buenaventura, Nadadores, Abasolo y Sacramento, así como algunas porciones de los Municipios de Lamadrid, Ocampo, Castaños y Progreso, del Estado de Coahuila.

1.41.2 FISIOGRAFÍA

El área de estudio se localiza en la Provincia Fisiográfica Cuencas y Sierras, que se caracteriza por estar formada por estrechas y alargadas sierras separadas por amplias planicies.

1.41.3 GEOLOGÍA

En las sierras de la zona de estudio afloran rocas calizas plegadas e intercaladas con lutitas, limolitas, areniscas, y yesos de edades que varían del Jurásico al Cretácico; destacan las rocas calizas plegadas de las Formaciones Aurora y Cupido, por su alta resistencia, gran espesor y elevada permeabilidad, por lo que constituye el principal acuífero en la región. En las estribaciones de las sierras afloran conglomerados del Terciario y en los valles afloran depósitos aluviales y fluviales del Cuaternario, conformados por gravas, arenas, limos y arcillas poco compactas y sin cementar, con espesores de 50 a 200 m.

1.41.3.1 Geología del subsuelo

El acuífero Monclova, está constituido por gravas, arenas, limos y arcillas poco compactas y sin cementar de origen aluvial y fluvial, cuya permeabilidad favorece la infiltración, circulación y extracción del agua subterránea. También está integrado por un medio conformado por calizas.

1.41.4 HIDROGEOLOGÍA

El medio que compone al acuífero es explotado en los primeros 100 m de profundidad y los caudales de extracción son relativamente bajos. Con caudales de 80 a 120 litros por segundo. En las calizas también se ubican manantiales con caudales de 200 a 500 litros por segundo. Algunos manantiales son termales, de elevada salinidad y con características propias de sistemas de flujo regional que circulan a mayor profundidad.

1.41.4.1 Parámetros hidráulicos

En el territorio que cubre el acuífero no se han realizado pruebas de bombeo para la determinación de las propiedades hidráulicas del acuífero.

1.41.4.2 Profundidad del nivel estático

En el año 2007, la profundidad al nivel de saturación del agua subterránea, medida desde la superficie del terreno, en las Ciudades de Monclova y Frontera variaba entre los 20 y 30 m, hacia el noroeste de estas ciudades y con dirección a Sacramento y Lamadrid, la profundidad se incrementa progresivamente, desde los 40 m hasta los 70 m. Las menores profundidades se registraron hacia la parte norte del valle y al sur de las sierras de Sardinias y Hermanas, con valores de 10 y 15 m de profundidad. Al sureste del valle, entre las localidades de Santa Rosa Salitrillos y La Mota, se registraron profundidades entre 15 y 20 m.

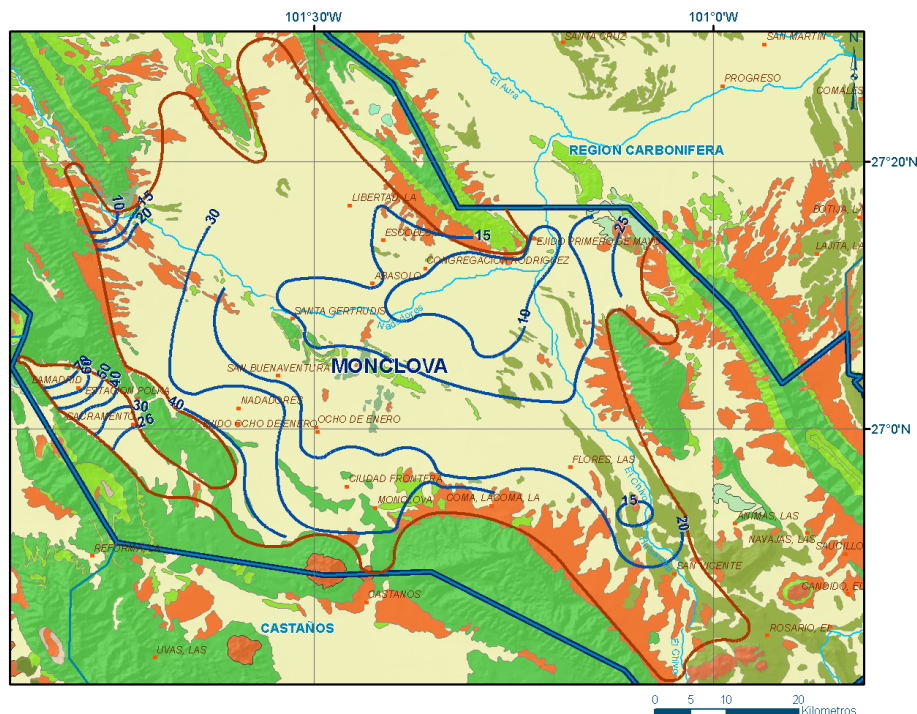


Figura 1.1.72. Profundidad del nivel estático en m (2007)

1.41.4.3 Elevación del nivel estático

La elevación del nivel de saturación del agua subterránea, referida al nivel del mar, en el año 2007 variaba de 370 a 680 msnm; las mayores elevaciones se ubican al sur, sureste y suroeste del Valle de Monclova con valores de 680, 640 y 560 msnm respectivamente; la elevación del nivel del agua subterránea disminuye gradualmente hacia el norte del acuífero, hacia las estribaciones de la Sierra Hermanas donde alcanza elevaciones de 390 a 370 msnm (Figura 1.1.73).

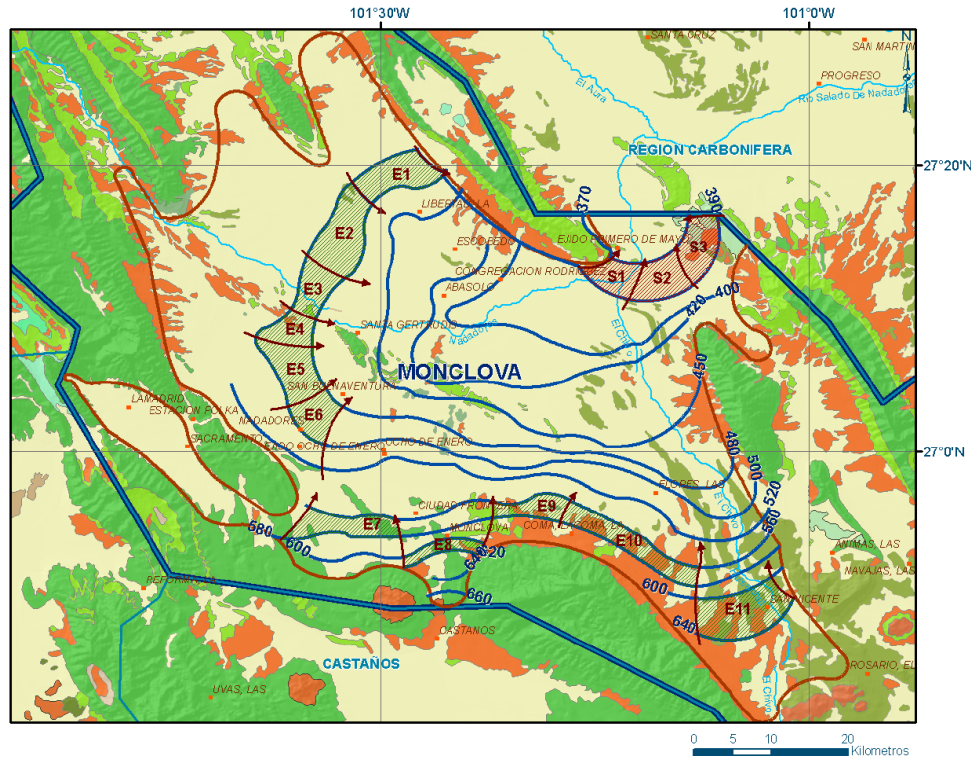


Figura 1.1.73. Elevación del nivel estático en msnm (2007)

Con respecto a la configuración de evolución del nivel estático para el periodo 2002-2007, se observa que se registran recuperaciones de hasta 0.7 m en el municipio Abasolo y de 0.3 m en la porción central del valle; es decir de 0.1 a 0.15 m anuales. Los abatimientos se registran entre los poblados San Buenaventura, Nadadores, Villa de Nadadores y Ejido Primero de Mayo (Figura 1.1.74), varían de 0.2 a 0.8 m, con un promedio de 0.1 m anuales.

Considerando los valores de recuperación y abatimiento, se puede afirmar que las variaciones en el nivel del agua subterránea y en el esquema de flujo, no han sufrido alteraciones importantes en el transcurso del tiempo, por lo que el cambio de almacenamiento tiende a ser nulo.

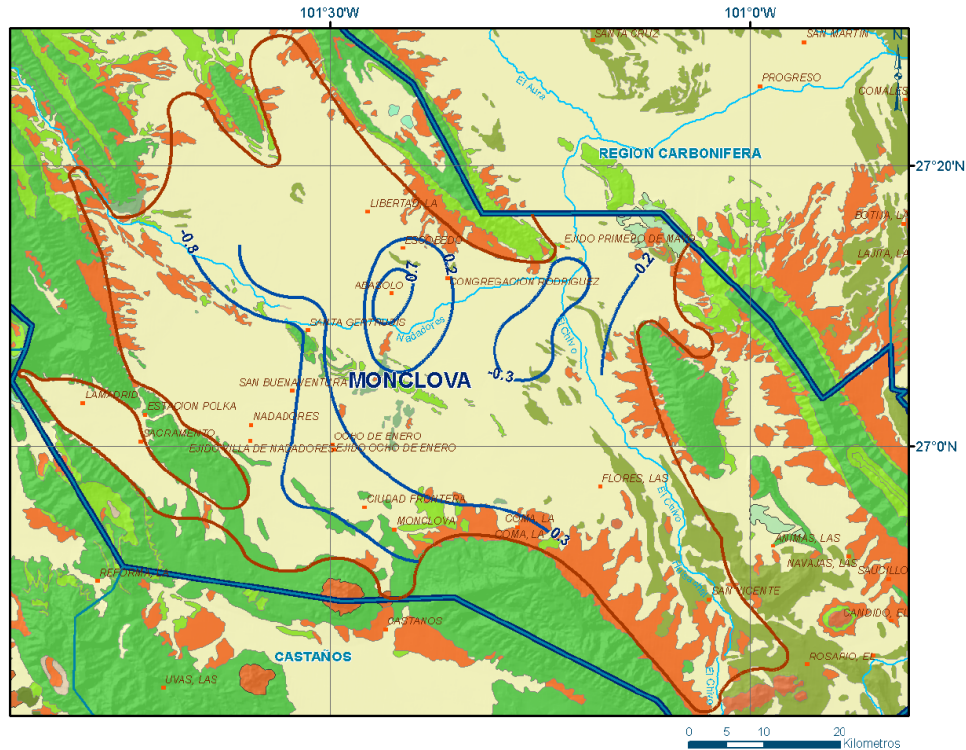


Figura 1.1.74. Evolución del nivel estático (2002-2007)

1.41.4.4 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

El agua subterránea del acuífero Monclova, es del tipo sulfatada cálcica, lo que indica la presencia de evaporitas en los rellenos del valle y la disolución de yeso. La concentración de sólidos totales disueltos varía entre 255 y 7,970 mg/L, las menores concentraciones se presentan en las estribaciones de las sierras, en las áreas de recarga y se incrementan hacia el centro del valle; en la mayoría del acuífero la concentración de sólidos totales disueltos varía entre 2,000 y 3,000 mg/L; límite establecido para consumo humano en la NOM-127-SSA1-1994. El agua subterránea del acuífero en algunos sitios también rebasa las concentraciones de nitratos, dureza total y sulfatos, establecidos en la norma anterior.

1.42 PAREDÓN

1.42.1 INFORMACIÓN GENERAL

El acuífero Paredón, clave 0508, se localiza en la porción sureste del Estado de Coahuila de Zaragoza y una pequeña porción del Estado de Nuevo León, cubriendo una superficie de 6,291 Km²; comprende parcialmente los municipios de Ramos Arizpe, General Cepeda y Castaños en el Estado de Coahuila de Zaragoza y los municipios de Mina y García, en el Estado de Nuevo León. Administrativamente corresponde a la Región Hidrológico-Administrativa Río Bravo.

1.42.2 FISIOGRAFÍA

El acuífero Paredón, está comprendido en dos provincias fisiográficas, la Provincia Sierra Madre Oriental, subprovincias Sierra La Paila, Sierras y Llanuras Coahuilenses y Pliegues Saltillo Parras; y la Provincia Sierras y Llanuras del Norte, subprovincia Laguna de Mayrán.

1.42.3 GEOLOGÍA

Dentro del acuífero Paredón, se encuentran principalmente rocas sedimentarias marinas y continentales con registro estratigráfico del Triásico al Reciente.

Las rocas más antiguas que afloran en la superficie del acuífero pertenecen al Grupo Huizachal del Triásico Tardío y corresponden a lechos rojos de depósitos continentales resultado de la erosión de pilares formados en el Mesozoico Temprano.

Durante el Jurásico Tardío las aguas marinas propiciaron el depósito de secuencias de rocas terrígenas clásticas, carbonatadas y evaporíticas, formando plataformas que representan a la Formación Zuloaga con calizas intercaladas con limolitas, y la Formación Olvido con yeso, caliza y limolita.

La información de cortes litológicos de pozos, sondeos geofísicos y evidencias de geología superficial, definen que en el subsuelo se presentan areniscas, lutitas y calizas; superpuesta por delgados espesores de depósitos aluviales y coluviales, así como pie de monte en los flancos de las sierras que delimitan el acuífero. El acuífero se encuentra alojado, por una delgada capa de sedimentos aluviales y coluviales y por lutitas alteradas y fracturadas, el subsuelo está conformado por las lutitas calcáreas de la Formación Parras, cubiertas por la secuencia de lutitas y areniscas del Grupo Difunta. Las fronteras, barreras y basamento hidrogeológico están representadas por lutitas y lutitas-areniscas de la Formación Parras y el Grupo Difunta, al desaparecer el fracturamiento y la alteración. A mayor profundidad, las secuencias de calizas cretácicas conforman un acuífero de permeabilidad alta que es explotado en las estructuras anticlinales.

1.42.3.1 Geología del subsuelo

El acuífero Paredón, está conformado por un medio granular, integrado por depósitos aluviales, en el que el agua subterránea se desplaza entre los poros, así como por un medio fracturado, conformado por rocas sedimentarias del Grupo Difunta en sus capas de areniscas fracturadas intercaladas con lutitas en las que el agua subterránea circula a través de fracturas.

1.42.4 HIDROGEOLOGÍA

Las evidencias geológicas, geofísicas e hidrogeológicas permiten definir la presencia de un acuífero de tipo libre heterogéneo y anisótropo, localizado en las partes bajas de los valles, en el que el agua que circula por un medio poroso conformado por los materiales aluviales que pueden alcanzar un espesor de 50 m aproximadamente; el espesor saturado en esta unidad es muy pequeño y en ocasiones se encuentra totalmente drenado. Debajo de los depósitos aluviales y en las estribaciones de las sierras, el acuífero está conformado por un medio fracturado con capas de lutitas intercaladas funcionando como semiconfinantes de las capas de arenisca. El acuífero alcanza un espesor conjunto del orden de los 250 m, según la información disponible.

Los materiales granulares se encuentran en los lechos arroyos en la porción central del acuífero, están asociados con depósitos aluviales que por sus características granulométricas son las áreas de interés desde el punto de vista hidrogeológico ya que cuantitativamente presentan una mayor conductividad hidráulica.

De acuerdo con cada uno de los rasgos indicadores de flujo, las zonas de recarga se encuentran en partes altas del acuífero; en donde una parte del escurrimiento debido a la precipitación en la zona, se infiltra en las partes donde los materiales geológicos, topografía y vegetación así lo permiten y debido al gradiente que se tiene por la topografía, este flujo llega a las zonas más bajas de la cuenca, en donde materiales permeables permiten la descarga de este flujo por medio de aprovechamientos o afloramiento del agua a través de los arroyos presentes en esta zona.

1.42.4.1 Parámetros hidráulicos

En el territorio que cubre el acuífero no se han realizado pruebas de bombeo para la determinación de las propiedades hidráulicas del acuífero.

1.42.4.2 Profundidad del nivel estático

El nivel de saturación del agua subterránea es aquel a partir del cual el agua satura todos los poros y oquedades del subsuelo.

En el año 2006, la profundidad al nivel de saturación, medida desde la superficie del terreno, variaba de 20 a 80 m (**Figura 1.1.75**), los valores más bajos se presentan en las zonas cercanas a las corrientes de agua de los arroyos Patos, La Encantada y Mimbre, y se van incrementado hacia las zonas topográficamente más elevadas asociadas a las áreas de recarga natural por la infiltración de la lluvia y los escurrimientos en los pie de monte, localizados en la Sierra El Potrero, La Paila y demás sierras ubicadas hacia el sur.

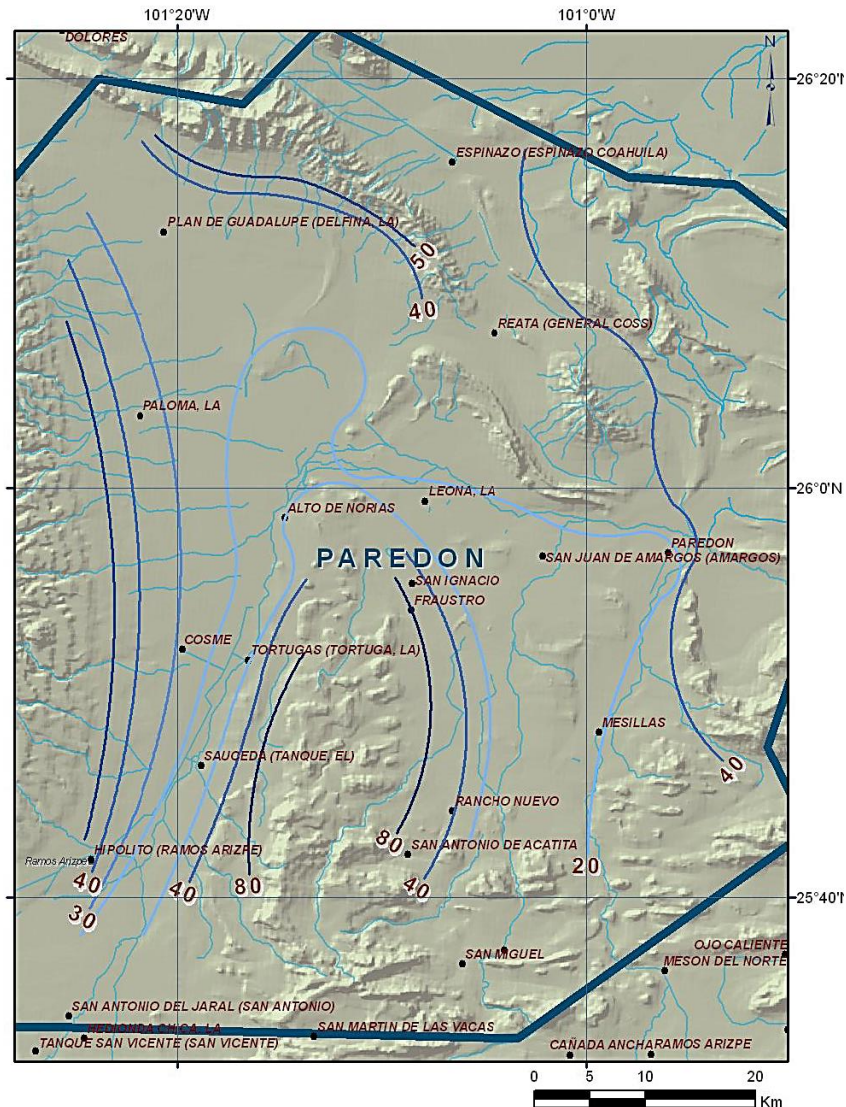


Figura 1.1.75. Profundidad del nivel estático, 2006

1.42.4.3 Elevación del nivel estático

La cota de elevación del nivel de saturación del agua subterránea, referido al nivel del mar, para el año 2006, tiene una variación de 750 a 1,200 m sobre el nivel del mar, con los valores más altos registrados hacia las estribaciones de las sierras circundantes y los valores bajos hacia la porción este del acuífero (Figura 1.1.76). El agua subterránea fluye de las zonas de recarga del acuífero localizadas en la Sierra El Potrero y sierras del sur, y del noroeste del valle, desde Hipólito hasta Plan de Guadalupe, estando relacionada con la infiltración de los arroyos que descienden de la Sierra La Paila, a través de los depósitos aluviales permeables.

Hay dos componentes principales de flujo subterráneo, una con dirección de sur a norte y otra de oeste a este, que confluyen hacia el Arroyo Patos para continuar en dirección hacia el este a lo largo del Valle San Juan de Amargos-Paredón.

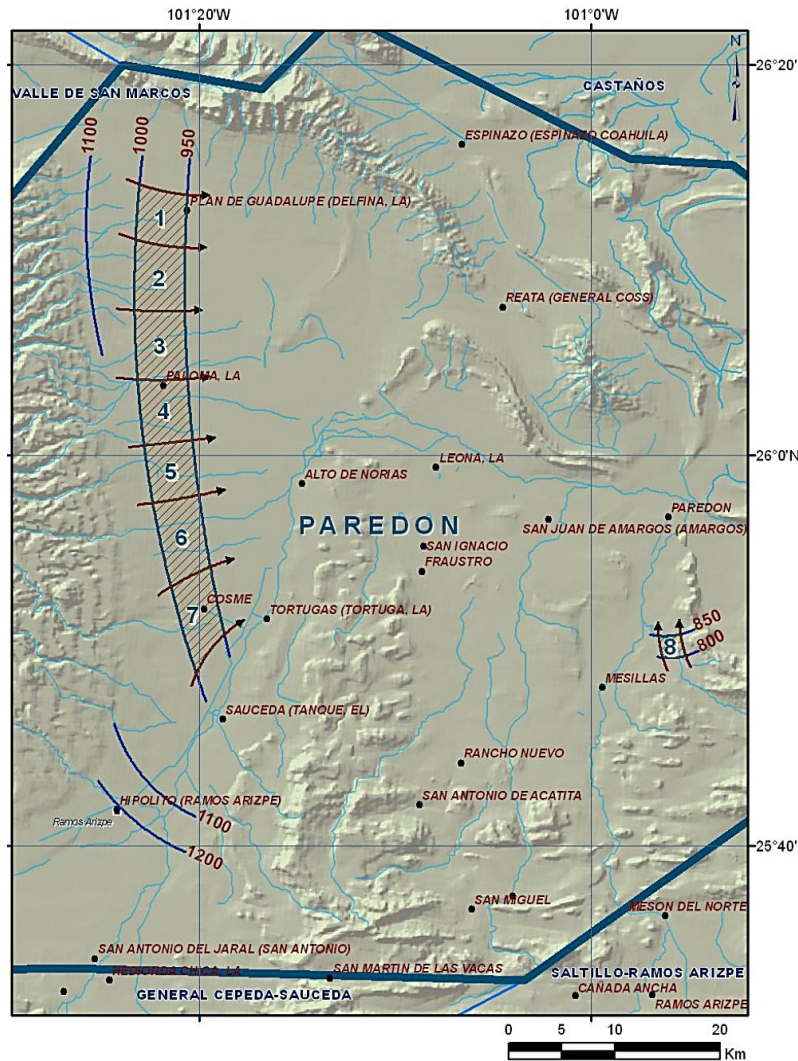


Figura 1.1.76. Elevación del nivel estático (msnm), 2006

La evolución del nivel de saturación del agua subterránea, indica que han existido abatimientos entre -1 y -2 m en el periodo de 1978 a 1980 con los mayores abatimientos registrados en Ejido Fraustro, El Higo, Santa Cruz y los más bajos en el área de las Esperanzas, San Juan de Amargos y La Leona. Para el periodo de 1998 al 2006, los abatimientos variaron de -0.15 a -6.21 m, con los mayores abatimientos en el ejido Plan de Guadalupe, La Leona, Gasolinera Santa Cruz, La Gamuza, Aguajillas de Abajo y Rancho Zacatecas, y los valores más bajos en el área de Santa Cruz, San Pablo, Mesillas y El Higo (Figura 1.1.77). La tasa de abatimiento medio anual registrado para ambos periodos es de 0.50 m por año.

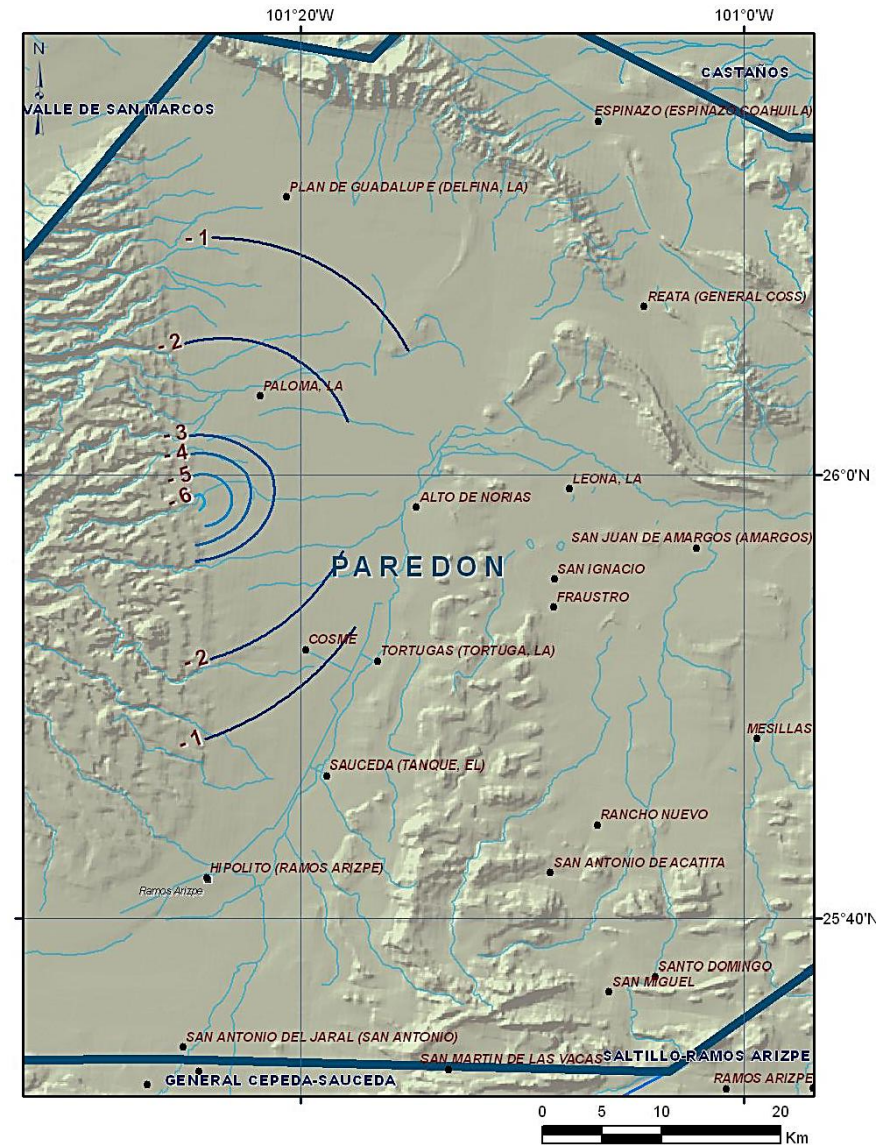


Figura 1.1.77. Evolución del nivel estático, 1998-2006 (CONAGUA, 2008)

1.42.4.4 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

En el acuífero Paredones, la mayoría de muestras presentan concentraciones que sobrepasan los límites máximos permisibles que establece la NOM-127-SSA.1994. La concentración de sólidos totales disueltos en el agua subterránea del acuífero Paredón, varía de 259 a 3,893 mg/L, 10 de las 14 muestras sobrepasan el límite máximo permisible, por lo que se clasifican como aguas salobres, y en las muestras restantes la concentración se encuentra por debajo de los 1,000 mg/L, clasificándose como agua dulce. Los contenidos de cloruros y sulfatos se encuentran por arriba del límite máximo permisible para consumo humano en algunas muestras, con valores de 13.5 a 735.3 y de 13 a 1,541 mg/L, respectivamente.

La concentración de nitratos sobrepasa el límite establecido en la norma referida de 10 mg/L, en todas las muestras de agua subterránea.

De acuerdo con los iones dominantes, las familias del agua subterránea que se encuentran en el acuífero Paredón, son la sulfatada-cálcica, sulfatada-cálcica-magnésica, sulfatada-sódica y bicarbonatada-cálcica. Las primeras familias sulfatadas el proceso de disolución de yesos y oxidación de pirita, reportadas en las rocas sedimentarias del Grupo Difunta y en el Valle San Juan de Amargos Paredón, en el área de confluencia de las componentes de flujo subterráneo que provienen de las porciones sur y noroeste; la familia sulfatada-sódica se relaciona con procesos de intercambio iónico que se producen en las arcillas que componen las lutitas del Grupo Difunta y la familia bicarbonatada-cálcica se localiza en zonas de recarga del acuífero, ubicadas hacia las sierras que bordean el valle.

Las concentraciones de sólidos totales disueltos, sulfatos y cloruro muestran un incremento en la dirección de flujo subterráneo. Las concentraciones más bajas se presentan hacia las zonas de recarga natural localizados hacia la Sierra El Potrero y sierras del sur y las más elevadas concentraciones se presentan hacia el Valle de San Juan de Amargos-Paredón, donde las concentraciones son mayores debido un mayor tiempo de residencia.

1.43 PARRAL – VALLE DEL VERANO

1.43.1 INFORMACIÓN GENERAL

El acuífero Parral-Valle del Verano, clave 0834, se localiza en la porción sur del Estado de Chihuahua, cubre una superficie de 1,465 Km²; comprende en su totalidad al Municipio de Santa Bárbara, y porciones menores de los municipios de San Francisco del Oro, Hidalgo del Parral, Matamoros y una muy pequeña porción de Allende, todos del Estado de Chihuahua, administrativamente corresponde a la Región Hidrológico-Administrativa Río Bravo.

1.43.2 FISIOGRAFÍA

El acuífero Parral-Valle del Verano, se encuentra ubicado dentro de la Provincia Fisiográfica Sierra Madre Occidental, y en la Subprovincia Sierras y Llanuras de Durango.

1.43.3 GEOLOGÍA

En la región en la que se ubica el acuífero Parral-Valle del Verano, la unidad más antigua que aflora está representada por una alternancia de micaesquistos, metalavas y calizas del Paleozoico, seguidas por la secuencia rítmica de areniscas y lutitas de edad Jurásico. Del Cretácico Inferior afloran lutitas y calizas, sobreyacidas por una unidad de andesitas masivas.

Sobreyaciendo discordantemente a la Formación Mezcalera, afloran unidades de andesitas, tobas andesíticas y areniscas, correlacionables con la secuencia Volcánica Escobedo del área de Parral, Chihuahua y con la Serie Volcánica Inferior. La Formación Mezcalera y las andesitas están afectadas por un intrusivo granodiorítico del Eoceno.

En la región cubierta por el acuífero se encuentran expuestas rocas sedimentarias, ígneas intrusivas y extrusivas, cuyo rango de edad abarca del Cretácico al Holoceno. La columna estratigráfica está constituida por rocas sedimentarias en la base, representada por una

alternancia tipo flysh, conformada por lutitas, calizas y areniscas, limolitas y margas, correspondientes a la Formación Mezcalera (miembro medio del Grupo Mezcalera) de edad Aptiano-Albiano.

En forma aislada y con reducidos afloramientos se identificaron rocas que por sus características y diferencias litológicas con la Formación Mezcalera, se correlacionan con las formaciones Aurora y San Carlos. La Formación Aurora está constituida por caliza mudstone-wackstone y en ocasiones grainstone, con nódulos de pedernal negro, se presenta con una morfología escarpada, masiva y en estratos de hasta 4 m de espesor. Sus relaciones con las rocas que le subyacen y sobreyacen a la Formación Mezcalera son por cabalgaduras.

1.43.4 HIDROGEOLOGÍA

Las evidencias geológicas e hidrogeológicas permiten establecer la presencia de un acuífero de tipo libre, heterogéneo y anisótropo, constituido en su porción superior, por sedimentos aluviales, fluviales de granulometría variada y conglomerados polimícticos, cuyo espesor puede alcanzar algunas centenas de m en el centro del valle. La porción inferior se aloja en una secuencia de rocas volcánicas entre las que destacan las tobas ácidas, riolitas e ignimbritas y en menor proporción basaltos, que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento.

A mayor profundidad las rocas calizas y areniscas representan un acuífero con características confinantes cuyo potencial, que aún no ha sido explorado, pero que puede ser escaso debido a que estas rocas sólo se presentan en pequeños afloramientos.

1.43.4.1 Parámetros hidráulicos

En el acuífero se tienen valores de transmisividad, entre 0.8 a 4.9×10^{-3} m²/s.

Para la conductividad hidráulica, se obtuvieron valores que varían de 6.9×10^{-6} a 2.0×10^{-5} m/s.

1.43.4.2 Profundidad del nivel estático

Del estudio realizado en 1982 se registró que las profundidades mayores a 40 m sólo se presentaban hacia el sur de la cuenca, en las proximidades de la hacienda de Roncesvalles, desde donde disminuían paulatinamente hacia el oriente hasta alcanzar profundidades de 10 m, a la altura del poblado Villa de Matamoros; en las direcciones norte y noreste también disminuía hasta tomar valores de 10 m a lo largo del río Santa Bárbara. Más al norte del río Santa Bárbara se encontraron profundidades del orden de los 12 m.

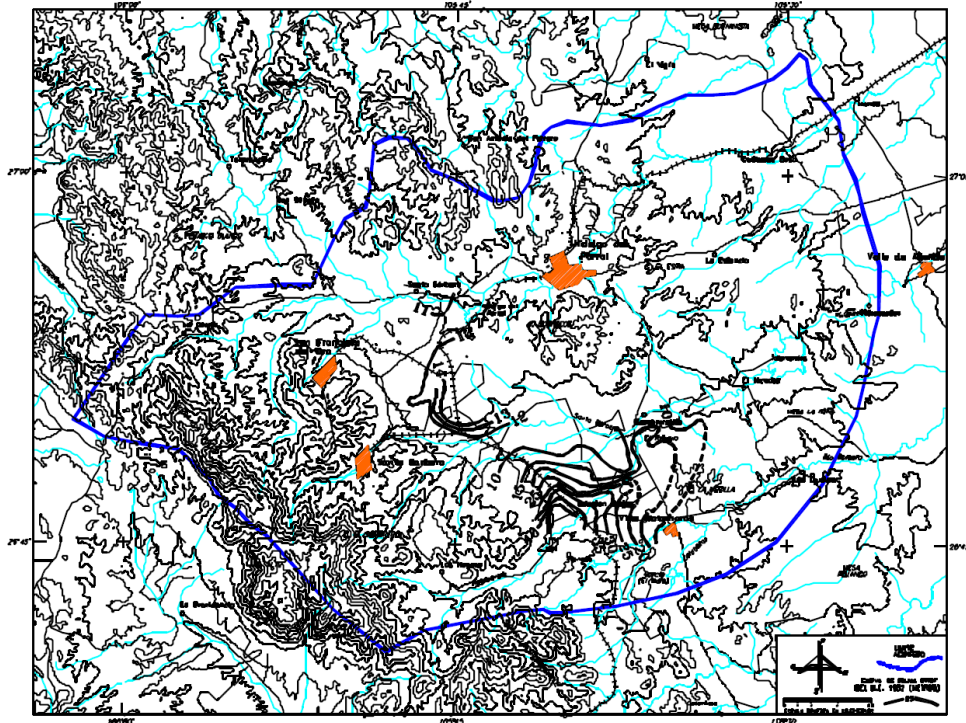


Figura 1.1.78. Profundidad del nivel estático, 1982

1.43.4.3 Elevación del nivel estático

Las elevaciones del nivel estático variaban de los 1870 msnm en las proximidades del poblado de San Francisco del Oro hasta los 1705 msnm en el poblado Sombreritillo, al norte de Villa de Matamoros. En un punto intermedio entre el arroyo Roncesvalles y el poblado de Villa de Matamoros se observa que existe una especie de parteaguas geohidrológico no muy bien definido que propicia la desviación del flujo subterráneo a lo largo del arroyo Roncesvalles con una dirección noreste hacia el punto de confluencia del arroyo con el río Santa Bárbara.

Para ese año de 1982, Figura 1.1.79, la configuración de la elevación del nivel estático muestra que el agua subterránea se mueve con una dirección preferencial del noroeste a sureste, pero precisamente en Sombreritillo tuerce hacia el NE, siguiendo el curso del arroyo Roncesvalles; sin embargo, a la altura de esa misma población, por efecto de la recarga originada en la sierra Roncesvalles se induce que una parte del flujo subterráneo apunte hacia el oriente.

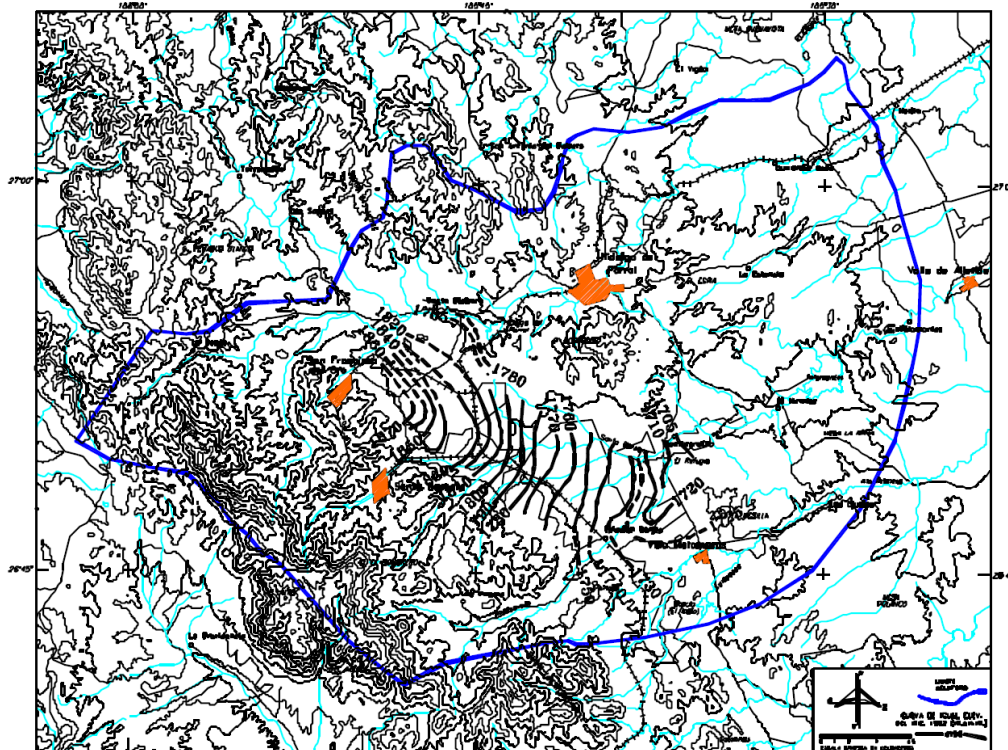


Figura 1.1.79. Elevación de los niveles estáticos. 1982

1.43.4.4 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

Se aprecia una variación gradual en los valores de conductividad eléctrica en el agua, cuyos valores varían de 275 a 1,100 $\mu\text{mho/cm}$, de las porciones altas hasta las porciones bajas de la cuenca y, además, un valor particularmente alto de 2,400 $\mu\text{mho/cm}$.

La distribución de los valores de conductividad eléctrica está asociada con la salinidad del agua, que de acuerdo a su distribución en el acuífero, sugiere una dirección general de flujo subterráneo de suroeste-noreste en la parte sur y este-oeste en la parte norte.

En cuanto a la salinidad del agua, ésta varía de 343 a 1,375 mg/L; la única zona que sobrepasa los límites máximos permisibles para consumo humano de sólidos totales disueltos establecidos en la NOM-127-SSA1-1994 es el área ubicada al norte del poblado de Punto Alegre, donde la mayor concentración alcanza un valor de 3,125 mg/L.

1.44 POTRERO DEL LLANO

1.44.1 INFORMACIÓN GENERAL

El acuífero Potrero del Llano, clave 0841, se localiza en la parte centro-oriental del Estado de Chihuahua, cubre una superficie de 2,487.56 Km^2 y comprende parcialmente a los municipios de Aldama y Julimes; administrativamente, corresponde a la Región Hidrológico-Administrativa Río Bravo.

1.44.2 FISIOGRAFÍA

El acuífero Potrero del Llano, de acuerdo al Instituto Nacional de Estadística y Geografía se encuentra en la Provincia Fisiográfica denominada Sierras y Llanuras del Norte, en la Subprovincia Sierra Plegadas del Norte, que se caracteriza por sierras alargadas plegadas, formadas por sinclinales y anticlinales de las rocas carbonatadas de edad Cretácica y pequeñas sierras y lomeríos escarpados, que corresponden a rocas volcánicas de tipo ácido.

1.44.3 GEOLOGÍA

En el acuífero Potrero del Llano, clave 0841, el marco geológico regional es de naturaleza predominantemente sedimentaria, principalmente de origen marino. Sin embargo, también afloran, aunque en menor proporción, importantes secuencias de rocas volcánicas y volcanoclásticas, así como algunos cuerpos ígneos intrusivos. En este contexto geológico, se aprecia una evolución tectónico-sedimentaria sumamente compleja que involucra cambios paleogeográficos trascendentales en la historia geológica de la región. En el área que cubre el acuífero, se encuentran expuestas secuencias litológicas que comprenden edades cuyo registro estratigráfico abarca desde el Paleozoico hasta el Reciente. Del Paleozoico están expuestas rocas carbonatadas y rocas arcilloarenosas.

El registro del Mesozoico se inicia con una secuencia calcáreo-arcillosa del Jurásico Superior, sobre la que se deposita una secuencia cretácica que incluye rocas evaporíticas, hacia su base, un paquete grueso de rocas carbonatadas en su parte media, y culmina con una depositación clástica. El Cenozoico está representado, principalmente, por rocas clásticas continentales, del Terciario, rocas piroclásticas y lávicas de composición silícica y rocas intrusivas emplazadas, tanto en las rocas sedimentarias como en las volcánicas. El Cuaternario está representado por depósitos recientes no consolidados de origen aluvial y fluvial.

La información geofísica del subsuelo permite identificar que las unidades litológicas presentan variaciones en el sentido tanto horizontal como vertical. Debajo del material que rellena los valles, constituido por conglomerados y depósitos aluviales, los cuales en algunas ocasiones alternan lateralmente con riolitas y tobas ácidas, se aloja la secuencia sedimentaria de edad Terciaria constituida por arenisca y lutitas.

1.44.4 HIDROGEOLOGÍA

El acuífero Potrero del Llano, clave 0841, está compuesto por un medio granular y un medio fracturado y se comporta como un acuífero libre y semiconfinado en ciertas regiones; el medio granular está integrado por depósitos aluviales y conglomerados que rellenan los valles en las planicies, y el medio fracturado está conformado por la secuencia de rocas areniscas con intercalaciones de lutitas de baja permeabilidad, cuyo espesor se estima en 200 m. El medio fracturado está constituido también por las rocas volcánicas que en el subsuelo está saturado y en la superficie se considera una zona de recarga del acuífero, así como por las rocas calcáreas, que presentan porosidad secundaria debido al fracturamiento y disolución. El medio granular está en contacto hidráulico con el medio fracturado por medio de fallas, fracturas y karstificación de las rocas calcáreas.

Las areniscas, lutitas y calizas del Jurásico y Paleozoico presentan una baja permeabilidad considerándolas el basamento de la zona.

La recarga del acuífero proviene de la infiltración directa de la precipitación y a través de los arroyos y corrientes superficiales; en tanto que su descarga natural ocurre por flujo subterráneo hacia el Río Conchos y por evapotranspiración en las proximidades de esta corriente efluente.

De acuerdo con sus propiedades físicas, las unidades litológicas presentes en el subsuelo pueden ser agrupadas en las cuatro unidades hidrogeológicas que se describen a continuación:

-UH1. Esta unidad está constituida por una secuencia de lutitas y areniscas; calizas y lutitas, de características semejantes a las formaciones Del Río y Ojinaga, alojada en los valles. Este paquete sedimentario del Cretácico Superior, está cubierto parcialmente por conglomerados de edad terciaria que presentan una matriz arcillosa, y ocasionalmente por depósitos aluviales del Cuaternario. El espesor de esta unidad es superior a los 200 m, llegando alcanzar hasta los 500 m. La permeabilidad de esta unidad es muy baja.

-UH2. Unidad formada por rocas volcánicas terciarias, de origen ígneo, que presentan permeabilidad secundaria por efecto del fracturamiento. En el suelo se encuentra saturada y en superficie constituye zonas de recarga.

-UH3. Esta unidad está constituida por calizas del Cretácico Inferior que presentan porosidad secundaria debido a la disolución. Agrupa a las formaciones Benigno, Finlay y Loma de Plata. Hacia las estribaciones de las sierras, su contacto con rocas menos permeables origina manantiales, siendo el más importante el de Chorreras. En el subsuelo constituye un acuífero.

-UH4. Constituida por las rocas más antiguas presentes en el área, pertenecientes al Jurásico y Paleozoico. Está conformada por una secuencia de areniscas, lutitas y calizas, con horizontes de yeso; que en conjunto presentan baja permeabilidad y se consideran el basamento de la región.

1.44.4.1 Parámetros hidráulicos

Los resultados obtenidos del estudio realizado en 2006 reportado por CONAGUA, se obtienen valores de transmisividad correspondiente a la unidad hidrogeológica UH1 un valor medio de 1.5×10^{-7} y una porosidad de 0.5%.

Para la unidad UH2 se obtuvo un valor de transmisividad de 8.24×10^{-7} y una porosidad del orden del 1%.

Debido a que las pruebas de bombeo no contaron con pozo de observación, no se pudo estimar el valor del coeficiente de almacenamiento.

1.44.4.2 Profundidad del nivel estático

La profundidad al nivel de saturación o estático, medida desde la superficie del terreno, varía de 2 a 90 m. Las profundidades mayores se ubican en la porción norte, y conforme se avanza hacia el sur y sureste los niveles son cada vez menos profundos, hasta alcanzar los 2 m.

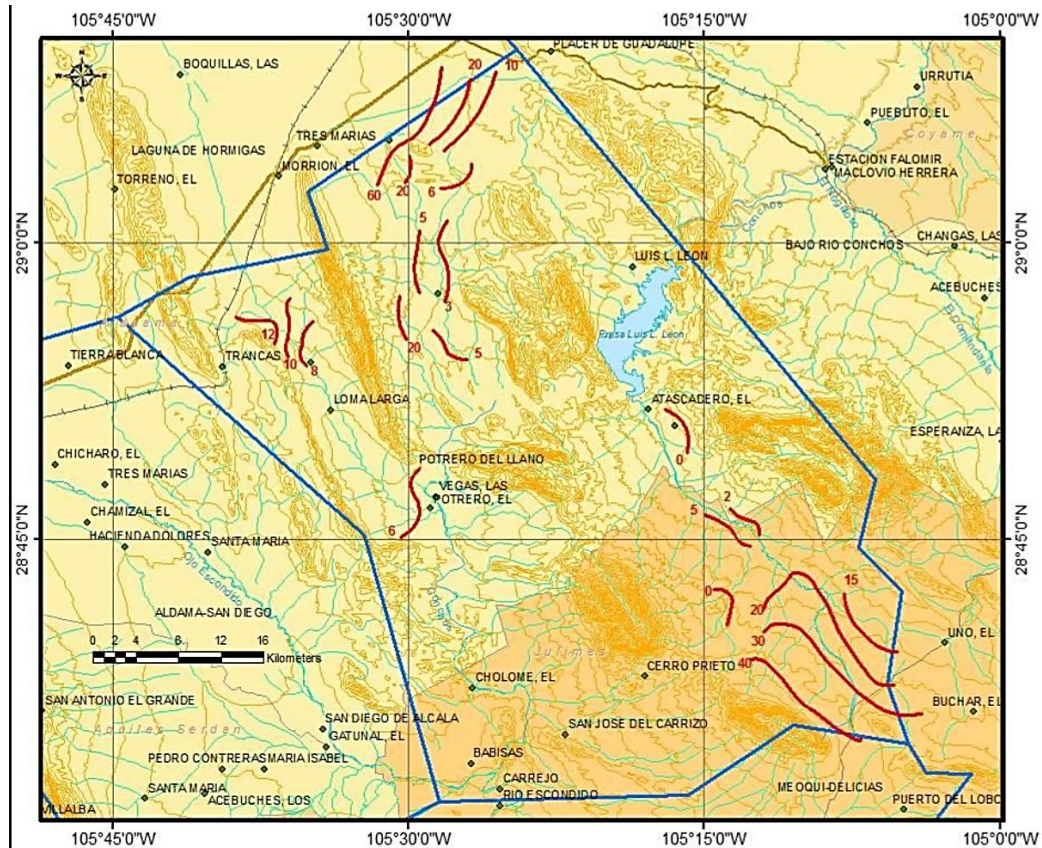


Figura 1.180. Profundidad del nivel estático en m del acuífero Potrero del Llano, 2006

1.44.4.3 Elevación del nivel estático

La elevación piezométrica del acuífero es mayor en la porción nororiental, cerca del Cerro El Placer, donde se tienen valores de 1,400 msnm, las cuales descienden gradualmente hacia el suroeste y sur, hasta alcanzar niveles de 1,050 msnm, cerca del Río Conchos. Hacia el noroeste las elevaciones de la superficie piezométrica varían entre 1,250 y 1,050 msnm, correspondiendo los valores mayores a la porción norte y los menores a la porción sur, reflejando una dirección del flujo subterráneo de norte a sur, hacia el Río Conchos.

En el sureste del acuífero, las elevaciones de la superficie piezométrica varían entre 1,400 y 1,075 msnm, correspondiendo los valores mayores a la porción suroriental y las menores a la porción noroccidental de este valle, cerca del lugar conocido como El Atascadero; el flujo de agua subterránea de esta porción del acuífero tiene una dirección preferente surestenoroeste, descargando con un gradiente piezométrico del orden de 0.0102 hacia el

almacenamiento superficial que constituye la Presa El Granero. En la zona de los manantiales de Babisas la elevación piezométrica es de 1,100 msnm.

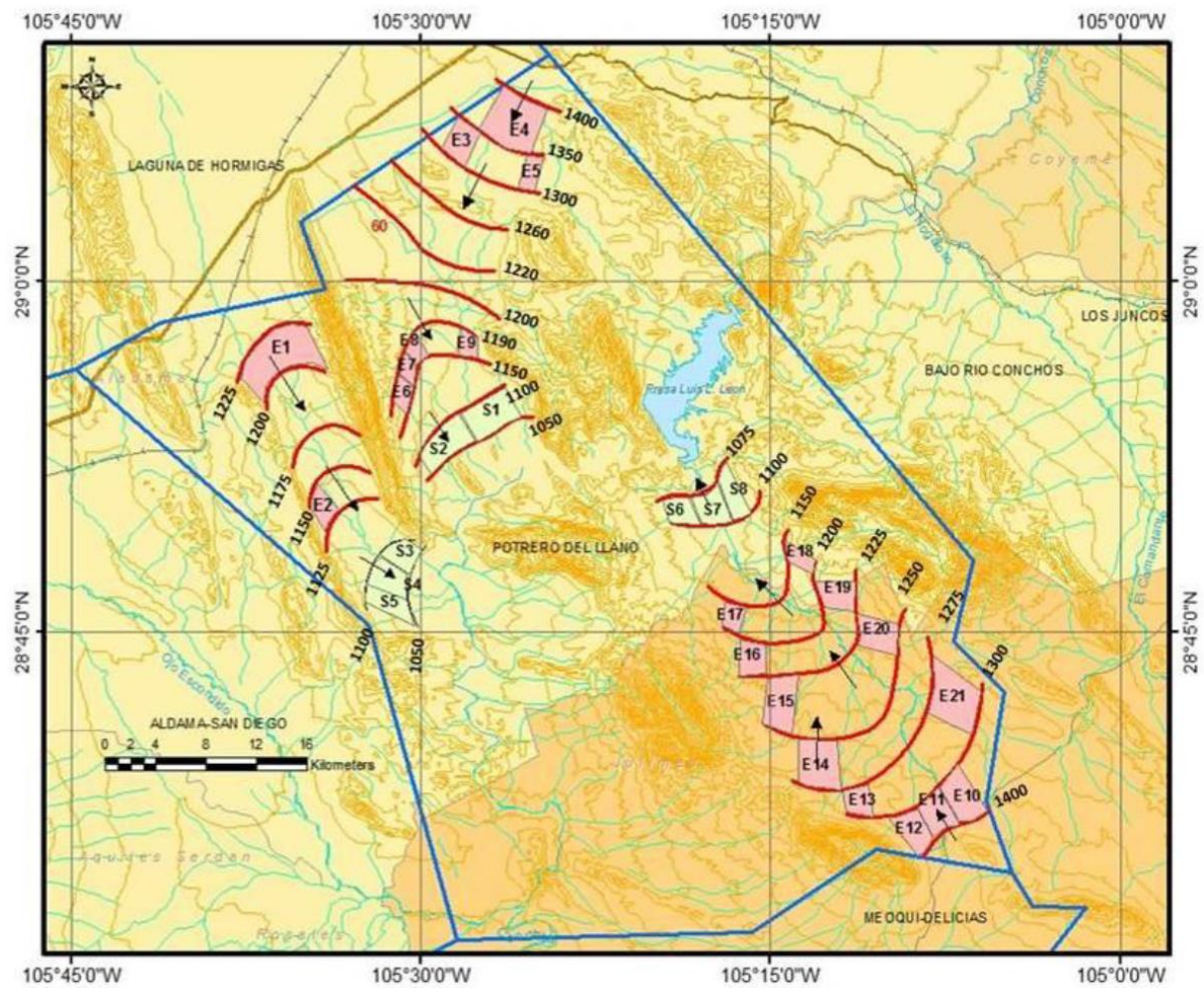


Figura 1.1.81. Elevación del nivel estático en msnm del acuífero Potrero del Llano, 2006

Con respecto a la evolución del nivel estático, las escasas mediciones piezométricas recabadas en estudios previos (1980 y 2000) se encuentran dispersas en tiempo y espacio, no cubren en su totalidad la extensión superficial del acuífero y no manifiestan cambios significativos.

1.44.4.4 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

El agua del acuífero Potrero del Llano, clave 0841, es predominantemente del tipo sódica-sulfatada y cálcica-sulfatada. Las concentraciones de sólidos totales disueltos varían de 380 a 3,286 mg/L; en gran parte del acuífero, las concentraciones rebasan el límite máximo establecido para consumo humano de 1,000 mg/L establecido en la NOM-127-SSA1-1994.

Las concentraciones de sodio, sulfato, y dureza también rebasan los límites establecidos por la norma referida.

Las concentraciones más elevadas se ubican hacia la parte alta de los valles, por lo que la calidad química del agua está más influenciada por la litología de medio poroso que por la distancia recorrida. Las aguas con bajo contenido de sales, confirman su circulación a través de rocas calizas y volcánicas; y las de alto contenido de sales reflejan su circulación por areniscas y lutitas, de ambiente lacustre.

1.45 PROVIDENCIA

1.45.1 INFORMACIÓN GENERAL

El acuífero Providencia, clave 1007, se localiza en la porción noroccidental del Estado de Durango, cubre una superficie de 852 Km²; y comprende parcialmente al Municipio de Ocampo, y una pequeña porción del Municipio de San Bernardo, ambos del Estado de Durango. Administrativamente corresponde a la Región Hidrológico-Administrativa Cuencas Centrales del Norte.

1.45.2 FISIOGRAFÍA

El acuífero Providencia, se encuentra ubicado dentro de la Provincia Fisiográfica Sierra Madre Occidental, abarcando parte de dos subprovincias fisiográficas; las porciones norte y suroriental, se localizan en la Subprovincia Sierras y Llanuras de Durango, en tanto que la región sur, se ubica en la Subprovincia Gran Meseta y Cañones Chihuahuenses.

1.45.3 GEOLOGÍA

En la región en la que se ubica el acuífero Providencia, afloran rocas volcánicas y sedimentarias, cuyo registro estratigráfico comprende del Cretácico al Reciente.

Las rocas más antiguas que afloran en el acuífero pertenecen al Grupo Mezcalera del Cretácico Inferior, cuyos afloramientos están conformados por alternancias rítmicas, en niveles de 20 a 30 centím, de caliza, lutita y en menor proporción arenisca, con cambios laterales de facies bruscos dentro de estas litologías. Estos afloramientos se limitan a la porción noreste del acuífero, en las cercanías del Cerro Chino.

Los afloramientos que predominan en el acuífero pertenecen al Supergrupo Volcánico Superior del Oligoceno-Mioceno, caracterizado por rocas volcánicas ácidas, tales como tobas riolíticas, riolitas, brechas riolíticas e Ignimbritas. Los afloramientos se presentan principalmente en la porción sur y norte del acuífero, en las zonas con mayor altitud; están caracterizados por rocas volcánicas ácidas, principalmente ignimbrita de color rosado a gris claro y tobas riolíticas.

1.45.4 HIDROGEOLOGÍA

La información de la geología superficial y del subsuelo permite definir la presencia de un acuífero libre, de propiedades hidráulicas muy variables, en el que el agua subterránea se desplaza principalmente en un medio poroso constituido por materiales clásticos aluviales de granulometría diversa y en menor proporción conglomerados, de permeabilidad media a baja, que constituyen el cauce y la llanura de inundación del Río Florido, así como sus arroyos tributarios, depositados en un valle tectónico limitado por pilares conformados por rocas volcánicas de composición ácida, que incluyen ignimbritas, riolitas y tobas.

La unidad inferior está alojada en un medio fracturado conformado por rocas volcánicas que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento y que en superficie funcionan como zonas de recarga. Las fronteras al flujo subterráneo y el basamento geohidrológico del acuífero, están representados por las mismas rocas volcánicas cuando a mayor profundidad desaparece el fracturamiento.

1.45.4.1 Parámetros hidráulicos

En el territorio que cubre el acuífero no se han realizado pruebas de bombeo para la determinación de las propiedades hidráulicas del acuífero.

1.45.4.2 Profundidad del nivel estático

En el año 2010, la profundidad al nivel de saturación, medida desde la superficie del terreno, variaba desde 2.5 m, a lo largo del cauce del Río Florido y arroyos tributarios, aumentando gradualmente hacia las estribaciones de la sierra hasta los 40 m.

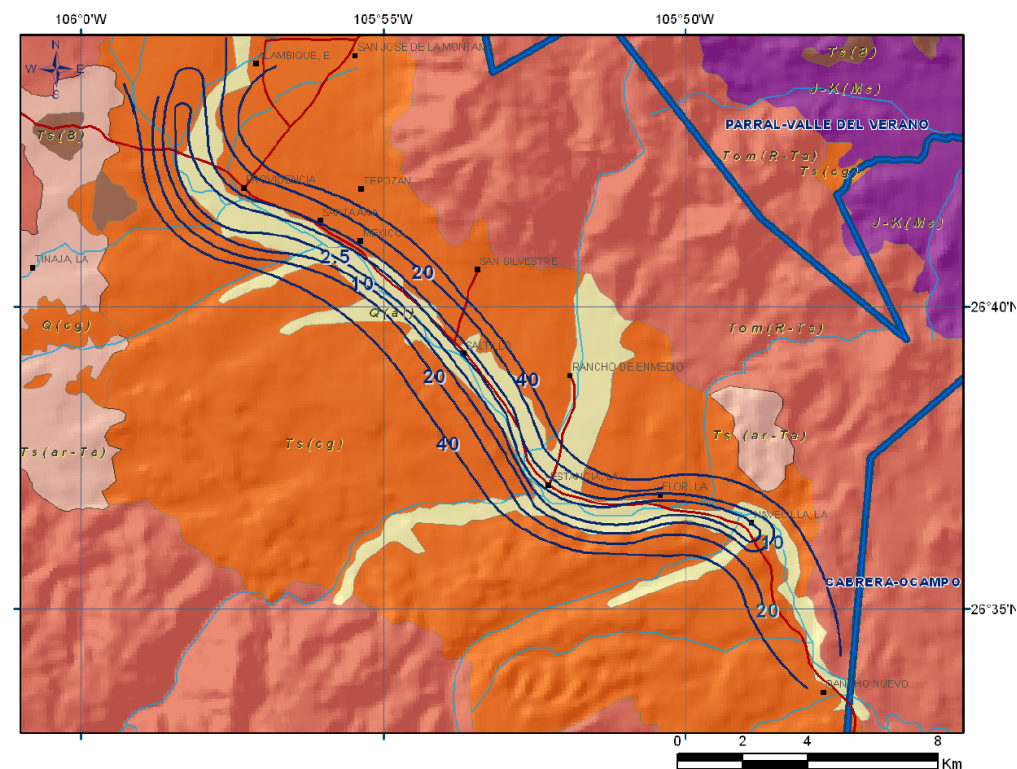


Figura 1.1.82. Profundidad al nivel estático (m), 2010

1.45.4.3 Elevación del nivel estático

La cota de elevación del nivel de saturación del agua subterránea, referido al nivel del mar, en el año 2010, variaba de 1,890 a 2,020 msnm, mostrando el reflejo de la topografía.

No existe información histórica que permita elaborar la configuración de la evolución del nivel del agua subterránea.

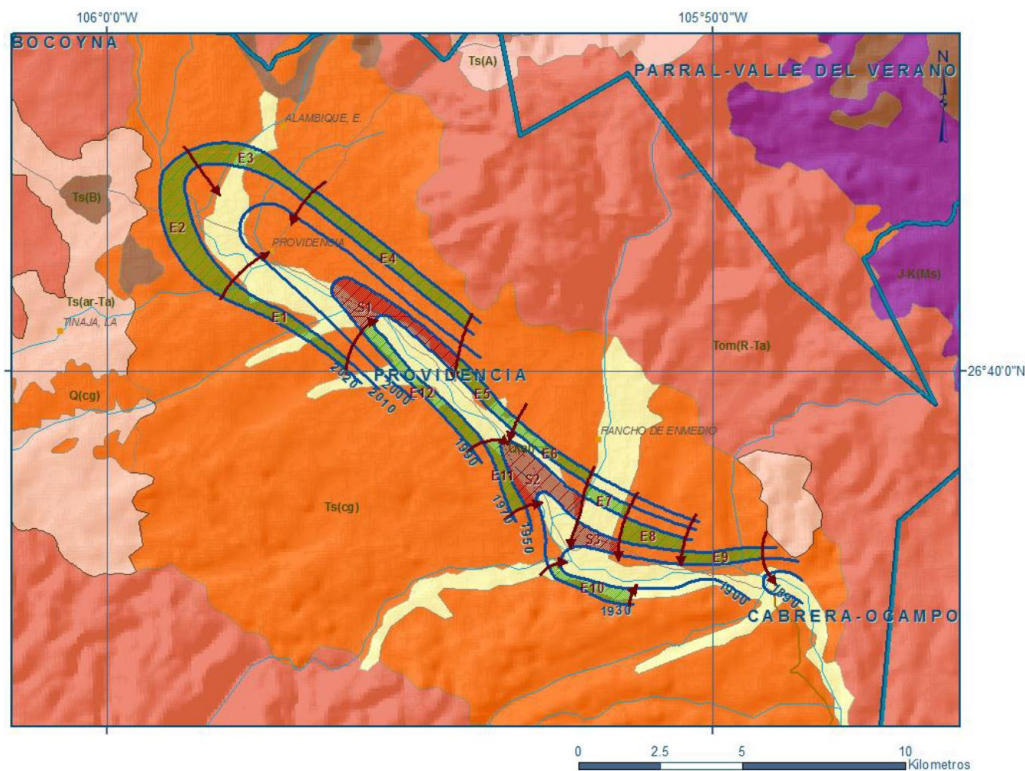


Figura 1.1.83. Elevación de nivel estático (msnm), 2010

1.45.4.4 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

De manera general, el agua subterránea es de baja salinidad, predominantemente bicarbonatada-sódica, que corresponde a agua de reciente infiltración que ha circulado principalmente a través de rocas volcánicas, por lo que las concentraciones de los diferentes iones y elementos no sobrepasan los límites máximos permisibles que establece la NOM-127-SSA1-1994.

La concentración de sólidos totales disueltos presenta valores que varían de 36 a 96 mg/L, por lo que no sobrepasan el límite máximo permisible de 1,000 mg/L establecido en la referida Norma Oficial Mexicana. Las menores concentraciones de sólidos totales disueltos, se presentan en los aprovechamientos ubicados hacia las partes topográficamente más altas, situadas en los extremos norte y occidental del acuífero, mientras que las mayores se registran en la porción central, reflejando de esta manera las direcciones preferenciales del flujo subterráneo.

1.46 REGIÓN CARBONÍFERA

1.46.1 INFORMACIÓN GENERAL

El acuífero Región Carbonífera, clave 0512, se localiza en la porción noreste del Estado de Coahuila de Zaragoza, cubriendo una superficie de 15,500 Km²; comprende totalmente los municipios de San Juan de Sabinas, Sabinas, Juárez y Progreso, parcialmente los municipios de Múzquiz, Escobedo y Villa Unión, y pequeñas porciones de los municipios de

Morelos, Zaragoza, Buena Ventura y Guerrero, todos ellos del Estado de Coahuila de Zaragoza; administrativamente pertenece a la Región Hidrológico-Administrativa "Río Bravo".

1.46.2 FISIOGRAFÍA

La superficie del acuífero Región Carbonífera, se ubica entre dos provincias fisiográficas. La primera, que cubre su porción occidental, es la Provincia Fisiográfica Sierra Madre Oriental y la segunda, que cubre la región Este, es la Provincia Fisiográfica Grandes Llanuras de Norteamérica.

1.46.3 GEOLOGÍA

En la superficie del acuífero Región Carbonífera, la geología regional de la zona está representada básicamente por rocas calcáreas del Jurásico y Cretácico y en menor proporción por intrusivos del Terciario y materiales aluviales del Terciario y Cuaternario. El Jurásico está representado por la Formación La Casita; el Cretácico Medio e Inferior por las Formaciones Taraises, La Virgen. La Mula, Cupido, La Peña, Aurora, Kiamichi y el Grupo Washita (integrado por las Formaciones Georgetown, del Río y Buda).

Del Cretácico Superior afloran las formaciones Eagle Ford, Austin, Upson, San Miguel, Olmos y Escondido. Representando al Terciario, aflora el Conglomerado Sabinas y, al Cuaternario, los materiales aluviales y basaltos.

Dentro de los límites del acuífero, se encuentran pliegues y fallas. Los principales pliegues corresponden a anticlinales y sinclinales en las rocas sedimentarias del Cretácico. Se encuentran tanto pliegues simétricos como asimétricos y en muchas ocasiones recumbentes, afectados por numerosas fallas, tanto normales como inversas.

1.46.4 HIDROGEOLOGÍA

De acuerdo con la información geológica y geofísica recabada en el acuífero Región Carbonífera, es posible definir la existencia de un sistema acuífero integrado por dos acuíferos en distintos medios geológicos, uno granular en el material aluvial y otro acuífero en calizas.

El acuífero aluvial se encuentra alojado, en su porción superior, en los sedimentos aluviales y fluviales de granulometría variada que constituyen el lecho y la llanura de inundación de los ríos Salado de los Nadadores, Sabinas, Álamos, San Juan y otros arroyos tributarios, así como en los conglomerados polimícticos de la Formación Sabinas.

La porción inferior se encuentra en una secuencia de rocas sedimentarias de edad Cretácico Superior compuesta por lutitas, limolitas, areniscas y calizas arcillosas de las formaciones Escondida, Olmos San Miguel, Upson, Austin, Eagle Ford y Grupo Washita, que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento y condiciones de semiconfinamiento o de confinamiento, debido a que su litología incluye alternancia con lutitas y limolitas. El basamento hidrológico del acuífero aluvial está representado por las mismas rocas sedimentarias al desaparecer el fracturamiento a profundidad.

1.46.4.1 Parámetros hidráulicos

Como parte de las actividades del estudio realizado en el 2011, los resultados indican que los valores medios de transmisividad son muy variables, ya que oscilan entre $0.23 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ a $175.3 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.

Los valores de conductividad hidráulica, considerando la composición litológica de los depósitos que rellenan el Valle del Río Sabinas, varía en orden de magnitud entre 10^{-6} y 10^{-2} m/s y el coeficiente de almacenamiento entre 0.01 y 0.2.

1.46.4.2 Profundidad del nivel estático

El nivel de saturación del agua subterránea es aquel a partir del cual el agua satura todos los poros y oquedades del subsuelo. En el año 2011, la profundidad al nivel de saturación, medida desde la superficie del terreno, variaba de 5 m en las márgenes de los ríos Sabinas, San Juan, Salado Nadadores y Los Álamos, aumentando gradualmente a medida que se aleja de los ríos hasta alcanzar 30 m de profundidad; las profundidades máximas se encuentran al pie de las sierras Santa Rosa, Obayos y Hermanas, donde las profundidades alcanzan los 50 m.

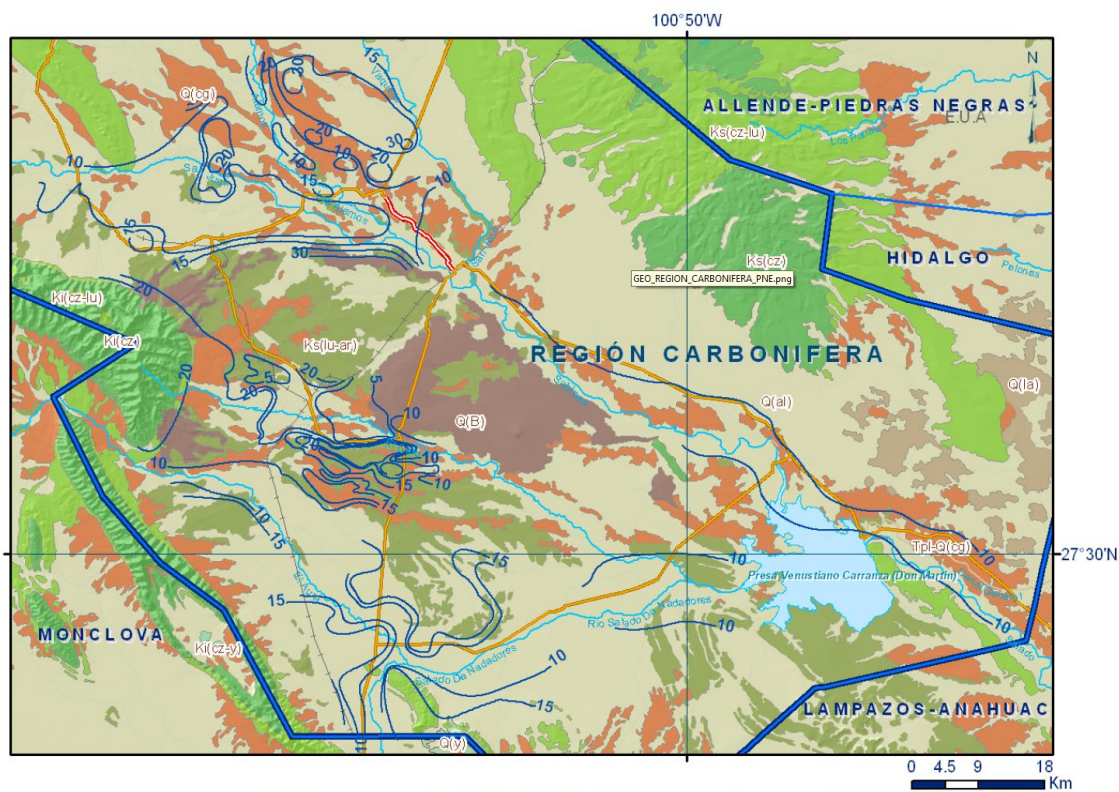


Figura 1.1.84. Profundidad al nivel estático (m), 2011

1.46.4.3 Elevación del nivel estático

La cota de elevación del nivel de saturación del agua subterránea, referido al nivel del mar, para el año 2011, variaba de 222 a 520 msnm, mostrando el reflejo de la topografía; los valores más bajos se localizan en la zona de inundación de la Presa Venustiano Carranza, desde donde se incrementan por efecto de la topografía hacia las sierras. La configuración

del nivel de saturación no muestra alteraciones del flujo natural del agua subterránea que indiquen la presencia de conos de abatimiento.

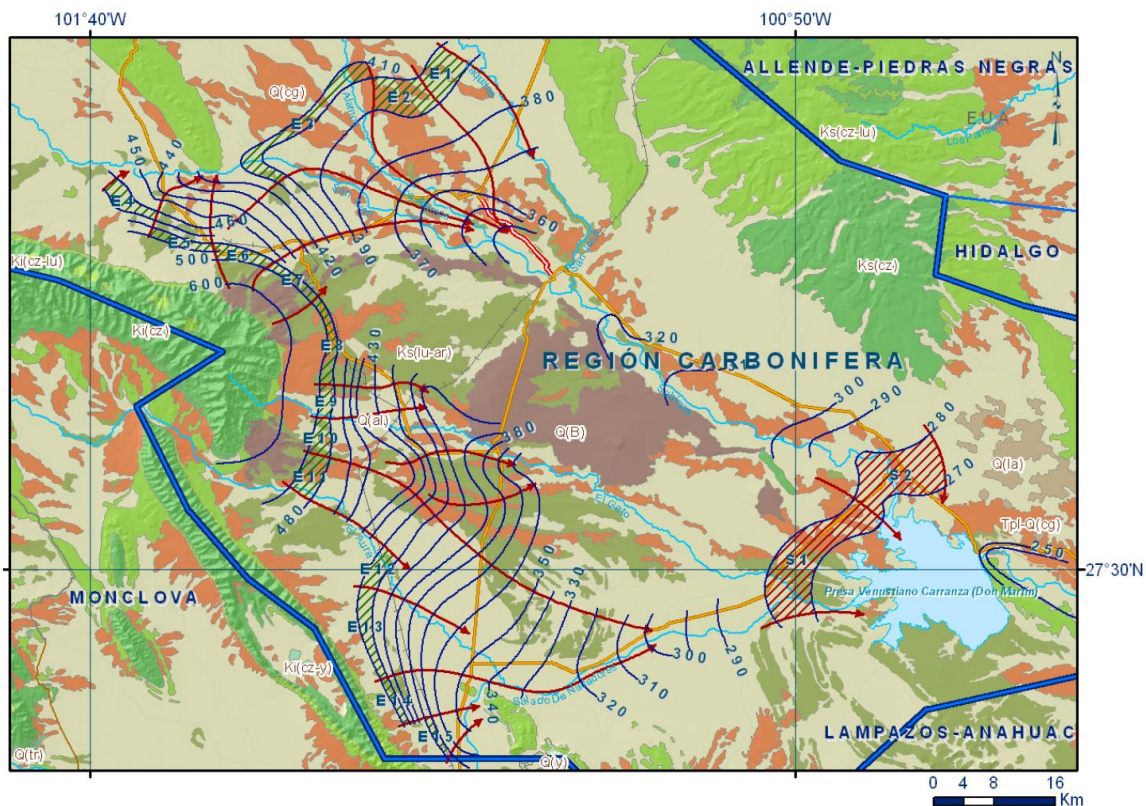


Figura 1.1.85. Elevación del nivel estático (msnm), 2011

Con respecto a la evolución del nivel estático durante el periodo 1996-2007, se observa que, de manera general, los niveles de agua se han mantenido en su posición. Además, la configuración de la elevación del nivel estático no muestra alteraciones del flujo natural del agua subterránea que indiquen la presencia de conos de abatimiento causados por la concentración de la extracción. Por estas razones, se puede afirmar que las variaciones en el nivel del agua subterránea no han sufrido alteraciones importantes en el transcurso del tiempo, por lo que el cambio de almacenamiento tiende a ser nulo.

1.46.4.4 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

Con respecto a la conductividad eléctrica, se observa que los valores varían de menos de 275 a 4,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, los valores más bajos, de 300 a 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, se presentan en los valles de los ríos Álamos y Sabinas, así como al pie de la Sierra de Santa Rosa.

Con respecto a la concentración de sólidos totales disueltos (STD), en la zona de Barroterán y en la porción oriente del acuífero (Progreso-Juárez), el agua presenta concentraciones salinas por arriba del límite permisible de 1000 mg/L que establece la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, por lo que no es apropiada para uso y consumo humano.

En general ninguno de los Parámetros analizados se encuentra por arriba de los límites permitidos de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana, únicamente la concentración de sulfatos supera el límite indicado en dicha norma, ya que en algunos aprovechamientos los análisis indican una concentraciones superiores a 450 mg/L, debido probablemente a las actividades agrícolas y a la presencia de minerales evaporíticos.

1.47 REGIÓN MANZANERA – ZAPALANIMÉ

1.47.1 INFORMACIÓN GENERAL

El acuífero Región Manzanera-Zapalinamé, clave 0511, se localiza en la porción sureste del Estado de Coahuila, al oriente de la Ciudad de Saltillo; cuenta con una superficie aproximada de 1,447 Km², casi en su totalidad al Municipio de Arteaga, y unas pequeñas áreas del Municipio de Saltillo, Coahuila.

1.47.2 FISIOGRAFÍA

El acuífero Región Manzanera-Zapalinamé se ubica en la provincia fisiográfica Sierra Madre Oriental, y forma parte de la provincia estructural conocida como Curvatura de Monterrey, en donde existe un paquete de rocas sedimentarias marinas plegadas con orientación este-oeste.

1.47.3 GEOLOGÍA

El acuífero Región Manzanera-Zapalinamé está constituido por depósitos aluviales que rellenan los valles y cañones de la región, conglomerados, brechas sedimentarias, así como por calizas permeables por su fracturamiento, estratificación y disolución, y por lutitas fracturadas. El acuífero se comporta en algunas zonas como de tipo libre y en otras como confinado por materiales de muy baja permeabilidad. En la porción del acuífero conformada por calizas, el agua de lluvia se infiltra fácilmente y circula con rapidez a través de las fracturas y conductos de disolución, además de que los pozos resultan de alto rendimiento; mientras que en la porción del acuífero conformada por materiales de baja permeabilidad, la capacidad de infiltración y circulación del agua subterránea es reducida, y los pozos extraen caudales reducidos. El basamento está conformado por lutitas no fracturadas o con fracturas selladas que impiden la circulación del agua subterránea.

1.47.4 HIDROGEOLOGÍA

1.47.4.1 Parámetros hidráulicos

En el territorio que cubre el acuífero no se han realizado pruebas de bombeo para la determinación de las propiedades hidráulicas del acuífero.

1.47.4.2 Profundidad del nivel estático

La profundidad al agua subterránea, medida desde la superficie del terreno, es muy variable en el acuífero Región Manzanera-Zapalinamé, desde 20 hasta 220 m. La variación de la profundidad al agua subterránea en los depósitos aluviales guarda relación con la topografía del terreno, es decir que los niveles más profundos se presentan en áreas topográficamente más altas y los más someros en áreas topográficamente más bajas. Esta relación no se observa en el acuífero en calizas. La diferencia de niveles entre el acuífero libre y el confinado comprueba que no existe comunicación hidráulica entre ellos.

1.47.4.3 Elevación del nivel estático

La cota de elevación del nivel de saturación del agua subterránea en el acuífero Región Manzanera-Zapalinamé es muy variable, desde 1,800 hasta 3,000 msnm.

El abatimiento promedio anual del nivel del agua subterránea varía de -0.5 a -4 m al año.

1.47.4.4 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

Las concentraciones de sólidos totales disueltos en el agua subterránea varían de 251 a 2,320 mg/L y son en función del tiempo de residencia del agua subterránea que depende de las condiciones de permeabilidad, por lo que en calizas con alta permeabilidad el movimiento del agua, es más rápido que para materiales arcillosos de baja permeabilidad.

La calidad del agua del acuífero Región Manzanera-Zapalinamé para uso potable en general es buena, aunque está limitada en algunas zonas por altas concentraciones de sólidos totales disueltos, sulfatos y nitratos, ya que rebasan los límites máximos permisibles establecidos en la NOM-127-SSA1-1994.

En algunas zonas se presentan elevadas concentraciones de nitratos en el agua subterránea, originada por contaminación provocada por actividades agrícolas, debido al uso de agroquímicos.

1.48 SABINAS - PARÁS

1.48.1 INFORMACIÓN GENERAL

El acuífero Sabinas-Parás, clave 1902, se ubica en la porción noreste del Estado de Nuevo León. El acuífero tiene una extensión territorial de 4,793 Km², y comprende parcialmente a los municipios de Vallecillo, Sabinas Hidalgo, Parás, Agualeguas, Salinas Victoria, Villaldama, Lampazos de Naranjo, Anáhuac, y Cerralvo.

1.48.2 FISIOGRAFÍA

Fisiográficamente la superficie del acuífero Sabinas-Parás, se ubica en la provincia de la planicie Costera del Golfo de México, en la Subprovincia de la Cuenca del Bravo, en su límite occidental. En la parte más occidental del acuífero inicia la provincia de la Sierra Madre Oriental.

1.48.3 GEOLOGÍA

Litológicamente la zona del acuífero está constituida principalmente por rocas sedimentarias que varían en edad del Cretácico al Cuaternario, con un gran predominio de rocas de edad cretácica en las sierras, destacando las rocas calizas y alternancias de calizas-lutitas.

Toda la columna sedimentaria de origen marino se encuentra intrusionada por rocas de composición sienítica. En el valle del acuífero predominan conglomerados del Terciario y el material aluvial del Cuaternario a lo largo de los cauces.

1.48.4 HIDROGEOLOGÍA

El acuífero Sabinas-Parás, está constituido por tres unidades hidrogeológicas:

- 1) la más somera conformada por material granular que funciona como libre, con espesores medios de 20 m y máximos de 50 m y es de bajo potencial geohidrológico;
- 2) una conformada por un medio fracturado que se presenta en lutitas fracturadas de la Formación Méndez, que generalmente se aprovecha en conjunto con el acuífero granular y es de potencial bajo a medio; y
- 3) calizas de las Formaciones Cupido y Aurora y la Formación Eagle Ford constituida por lutitas calcáreas y que pueden tener potencial geohidrológico desde bajo a medio.

1.48.4.1 Parámetros hidráulicos

La profundidad al nivel del agua subterránea o nivel estático en la medición piezométrica de 2007, varía de 5 a 40 m.

En la mayor parte del acuífero, la profundidad al nivel de saturación se encuentra entre 10 y 20 m, con excepción del extremo poniente, en una pequeña zona paralela a las estribaciones de la Mesa El Cedral y a la carretera a Monterrey, donde la profundidad varía entre 20 y 40 m. Existen también tres zonas con profundidades al nivel estático menores de 10 m, una ubicada al noreste de Sabinas Hidalgo y dos zonas alargadas, orientadas casi oeste-este, ubicadas entre los ríos Sabinas y Álamo.

1.48.4.2 Elevación del nivel estático

Las curvas de igual elevación del nivel estático varían de 120 a 360 msnm, disminuyendo en elevación, de poniente a oriente, mostrando un flujo subterráneo en ese mismo sentido, siguiendo el curso del Río Sabinas y del Río Álamo. El flujo subterráneo se genera en parte, en las estribaciones de las sierras que limitan al acuífero y que descarga hacia el Estado de Tamaulipas en dirección del Río Bravo.

La evolución del nivel estático para el periodo 2003-2007, presenta valores que varían de 5.35 m de recuperación a 7.04 m de abatimiento, mostrándose, en general, las evoluciones positivas entre 0 y 5 m en la porción sur, norte y noreste del acuífero, mientras que las evoluciones negativas se muestran en todo el poniente del acuífero y al sureste, presentando los mayores abatimientos en la zona suroeste del acuífero. Las mayores recuperaciones se presentan en la franja localizada entre los ríos Sabinas y Álamo y entre los poblados Los Colorados de Abajo y Palo Alto.

1.48.4.3 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

En el medio granular del acuífero Sabinas-Parás, la calidad del agua subterránea, varía de regular a mala, respecto a su salinidad, ya que la concentración de sólidos totales disueltos varía de 400 a 1,500 mg/L, con datos puntuales mayores a 2,000 mg/L, relacionados con el medio fracturado. En las lutitas que conforman el acuífero, las concentraciones de sólidos totales disueltos presentan un enriquecimiento en sales que generalmente sobrepasan los 1,000 mg/L de sólidos totales disueltos.

Con relación a la calidad del agua para uso público-urbano, en el acuífero Sabinas-Parás, las concentraciones de sulfato varían de 11 a 500.6 mg/L. El calcio en el acuífero se encontró en concentraciones que van de 141 a 2,135 mg/L. El sodio se presenta en concentraciones de 8.7 a 687 mg/L. Los cloruros se encontraron en concentraciones que varían de 10 a 1,963 mg/L.

1.49 SALTILLO – RAMOS ARIZPE

1.49.1 INFORMACIÓN GENERAL

El acuífero Saltillo-Ramos Arizpe, clave 0510, se localiza en la porción sureste del Estado de Coahuila, cuenta con una superficie de 1,446 Km² y cubre parcialmente a los municipios de Saltillo, Ramos Arizpe y Arteaga del Estado de Coahuila.

1.49.2 FISIOGRAFÍA

De acuerdo con la regionalización fisiográfica del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), la zona que corresponde al área del acuífero se localiza en la Provincia Pliegue Saltillo Parras, en la porción oeste cubriendo la mayor parte del territorio y la Subprovincia Gran Sierra Plegada, en la porción oriental.

1.49.3 GEOLOGÍA

El acuífero Saltillo-Ramos Arizpe está constituido por depósitos aluviales de gravas, arenas, limos y arcillas, conglomerados, calizas y lutitas fracturadas. El acuífero es de tipo semiconfinado. En la porción del acuífero conformada por calizas, el agua de lluvia se infiltra fácilmente y circula con rapidez a través de las fracturas y conductos de disolución, además de que los pozos resultan de alto rendimiento; mientras que en la porción del acuífero conformada por materiales de baja permeabilidad, la capacidad de infiltración y circulación del agua subterránea es reducida, y los pozos extraen caudales reducidos. El basamento está conformado por lutitas no fracturadas o con fracturas selladas que impiden la circulación del agua subterránea.

1.49.4 HIDROGEOLOGÍA

1.49.4.1 Parámetros hidráulicos

En el territorio que cubre el acuífero no se han realizado pruebas de bombeo para la determinación de las propiedades hidráulicas del acuífero.

1.49.4.2 Profundidad del nivel estático

La profundidad al agua subterránea, medida desde la superficie del terreno, varía desde 10 m en la Ciudad de Saltillo y en la población de Ramos Arizpe, hasta 80 m hacia el oriente, sur y sureste del valle y hacia las sierras localizadas al poniente del valle. La variación de la profundidad al agua subterránea guarda relación con la topografía del terreno, es decir que los niveles más profundos se presentan en áreas topográficamente más altas que representan zonas de recarga, y los más someros en áreas topográficamente más bajas.

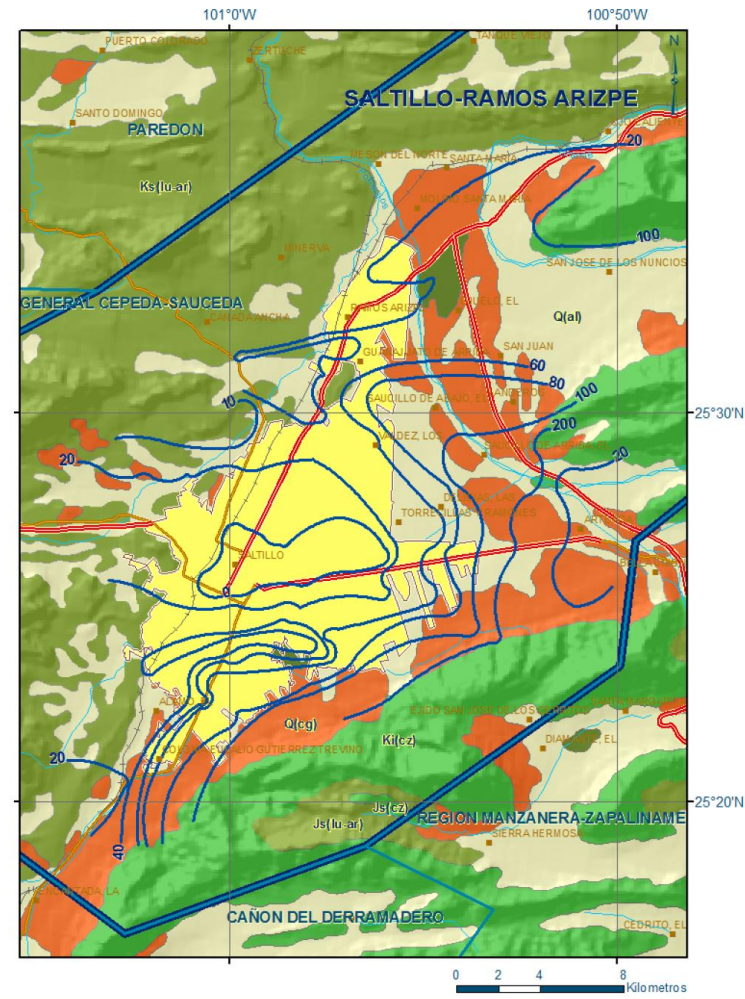


Figura 1.1.86. Profundidad del nivel estático, 2007

1.49.4.3 Elevación del nivel estático

La cota de elevación del nivel del agua subterránea varía entre 1,700 msnm en la zona de Buenavista, a 1,300 msnm al noreste de Ramos Arizpe; por lo que se infiere que el agua subterránea fluye de suroeste al noreste del valle, coincidiendo con la dirección principal del escurrimiento superficial. La recarga natural se origina en las sierras localizadas al poniente del valle, y existen entradas subterráneas desde el oriente, sur y suroeste y salida por flujo subterráneo hacia el noreste de Ramos Arizpe. Los abatimientos menores se observan en la Ciudad de Saltillo debido a la reducida extracción o a la infiltración provocada por fugas en la red de distribución de agua potable en la ciudad; y los mayores abatimientos se presentan en el área de Los Valdés y Los González, como consecuencia de la gran concentración de pozos de extracción en esta zona.

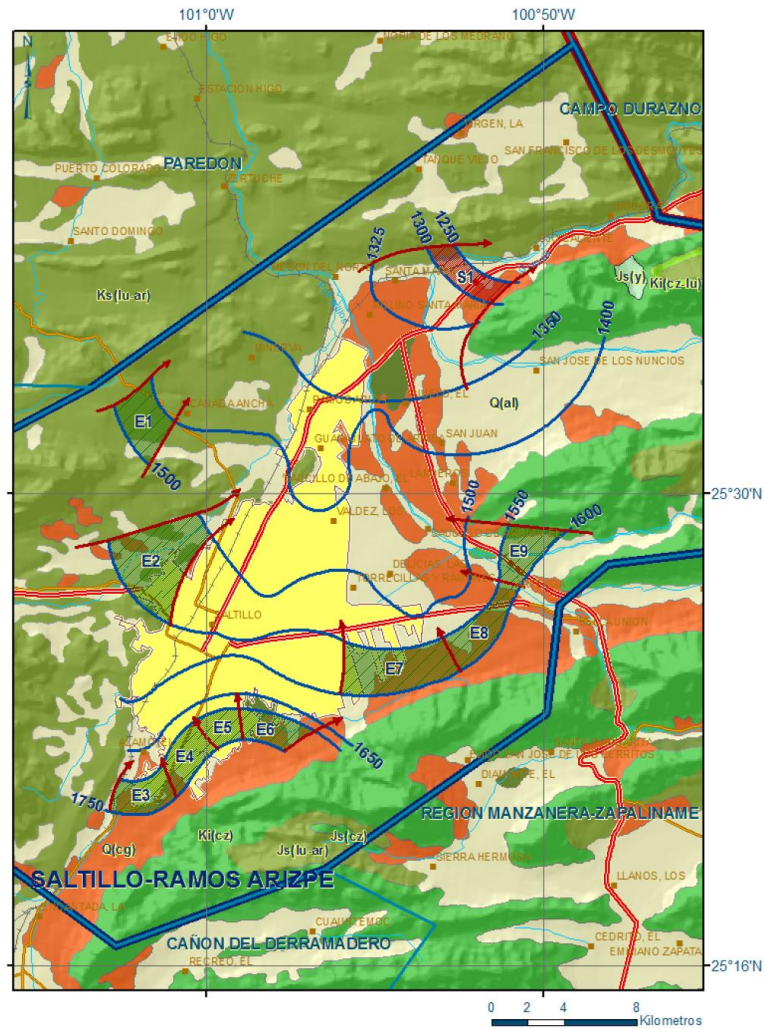


Figura 1.1.87. Elevación del nivel estático, 2007

1.49.4.4 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

Las concentraciones de sólidos totales disueltos en el agua subterránea varían de 500 a 3,000 mg/L. El agua presenta menor salinidad en las zonas de recarga natural en la parte sur y suroeste del valle, mientras que las de mayor salinidad se presentan en el área de descarga natural al norte de Ramos Arizpe. La calidad del agua del acuífero Saltillo-Ramos Arizpe para uso potable está limitada por las altas concentraciones de sólidos totales disueltos y sulfatos que se presentan en la parte norte del valle, los cuales rebasan los límites máximos permisibles establecidos en la NOM-127-SSA1-1994.

1.50 SAN FELIPE DE JESÚS

1.50.1 INFORMACIÓN GENERAL

El acuífero San Felipe de Jesús, clave 0845, se localiza en la porción sur del Estado de Chihuahua, abarca parcialmente a los municipios de Satevó, Nonoava, Rosario, Huejotitlán, Hidalgo del Parral, Valle de Zaragoza, San Francisco del Oro y Carichi.

1.50.2 FISIOGRAFÍA

El acuífero San Felipe de Jesús, está contenido dentro de la Provincia Fisiográfica Sierra Madre Occidental; así como en las Subprovincias fisiográficas denominadas Sierras y Llanuras de Durango, y Gran Meseta y Cañones Chihuahuenses. Está formada en su mayor parte por rocas ígneas extrusivas.

1.50.3 GEOLOGÍA

La geología superficial de la zona del acuífero San Felipe de Jesús, está representada principalmente por las unidades geológicas siguientes: Caliza-lutita del Cretácico Inferior, conglomerado del Cretácico Superior y rocas ígneas extrusivas ácidas del Terciario. En la porción noreste y en el límite suroeste existen afloramientos de arenisca-conglomerado del Terciario. En la porción sureste existen dos pequeños afloramientos de rocas ígneas-intrusivas ácidas y en el límite sur un afloramiento de roca metasedimentaria.

Estructuras de origen ígneo extrusivo, se encuentran diseminadas en el área y se representan por derrames lávicos, conos y mesetas. Se denota un fracturamiento que afecta a las estructuras anteriores. Existe la unidad de areniscas del Terciario Inferior, que subyace a los depósitos del reciente y que logra aflorar hacia el límite sureste.

Dadas las características litológicas y edafológicas que permiten la infiltración de la lluvia en casi toda la extensión del acuífero se puede considerar que el acuífero es del tipo libre y tiene lugar en los conglomerados de clastos de caliza; con fragmentos redondeados y subredondeados, por lo general bien clasificados. La caliza que constituye los clastos es de textura mudstone y packstone que incluye fragmentos de pelecípodos y nódulos de pedernal café y proviene de las unidades de caliza y caliza-lutita del Cretácico Inferior; este conglomerado presenta estratificación gruesa bien definida que se observa claramente plegada.

1.50.4 HIDROGEOLOGÍA

Dadas las características litológicas y edafológicas que permiten la infiltración de la lluvia en casi toda la extensión del acuífero, se considera de tipo libre y tiene lugar en los conglomerados de clastos de caliza, con fragmentos redondeados y subredondeados, por lo general bien clasificados. La caliza que constituye los clastos es de textura mudstone y packstone que incluye fragmentos de pelecípodos y nódulos de pedernal café y proviene de las unidades de caliza y caliza-lutita del Cretácico Inferior; este conglomerado presenta estratificación gruesa bien definida que se observa claramente plegada.

1.50.4.1 Parámetros hidráulicos

En el territorio que cubre el acuífero no se han realizado pruebas de bombeo para la determinación de las propiedades hidráulicas del acuífero.

1.50.4.2 Profundidad del nivel estático

La profundidad al nivel de aguas subterráneas, medida desde la superficie del terreno en el acuífero San Felipe de Jesús, es de 18 m en el pozo ubicado en el norte del acuífero, a la altura de la comunidad La Libertad y de 5.5 m en la parte central del acuífero, en las inmediaciones de la comunidad La Huerta.

1.51 TABALAOPA-ALDAMA

1.51.1 INFORMACIÓN GENERAL

El acuífero Tabalaopa-Aldama, clave 0835, se localiza en la porción central del Estado de Chihuahua, cubre una superficie de 728 Km² y comprende parcialmente a los municipios de Aldama, Aquiles Serdán y Chihuahua. Administrativamente pertenece a la Región Hidrológica-Administrativa Río Bravo.

1.51.2 FISIOGRAFÍA

De acuerdo al Instituto Nacional de Estadística y Geografía, el acuífero Tabalaopa-Aldama, se encuentra entre las Provincias Fisiográficas Sierras Marginales y Cuencas y Sierras.

1.51.3 GEOLOGÍA

La secuencia estratigráfica presente en el acuífero Tabalaopa-Aldama, contiene unidades desde el Precámbrico hasta el Reciente. El basamento sobre el que descansan las secuencias paleozoicas y mesozoicas está constituido por rocas gnéisicas, anfibolíticas, graníticas y metamórficas del Precámbrico. Las rocas del basamento han sido sometidas a fases compresivas y distensivas que conforman grandes bloques emergidos o hundidos, que en ocasiones denotan movimientos horizontales de transcurrancia y cabalgamiento, controlando la sedimentación y sus posteriores deformaciones.

Las rocas sedimentarias del Mesozoico están conformadas por secuencias de calizas, yesos y anhidritas, calizas arcillosas, areniscas y lutitas que presentan plegamiento en anticlinales y sinclinales ocasionado por el evento compresivo de la Orogenia Laramide. Las calizas de origen arrecifal y aquellas que presentan intenso fracturamiento, fallamiento u oquedades de disolución, son de alta permeabilidad. Las rocas volcánicas del Terciario, que afloran en la superficie del acuífero son brechas riolíticas, derrames fisurales de composición andesítica, tobas e ignimbritas de composición riolítica.

Las unidades recientes del Cuaternario están compuestas por conglomerados polimícticos, así como depósitos aluviales y fluviales. Los conglomerados polimícticos consisten de gravas y arenas poco consolidadas, constituidos por clastos subangulosos a subredondeados de calizas y rocas volcánicas, con matriz arenosa con escaso cementante calcáreo. Los sedimentos de origen aluvial y fluvial consisten de limo, arcilla, arena y grava no consolidados. Los abanicos aluviales son considerados como zonas potenciales de recarga natural debido a su granulometría gruesa sin cementar. Sus pendientes son suaves, forman drenaje subdendrítico a subparalelo afectando a depósitos clásticos, producto del intemperismo de la Sierra de Santo Domingo. Las zonas bajas del acuífero se consideran zonas de recarga difusa debido a que generalmente los materiales de relleno están constituidos de arenas de grano fino intercaladas con abundantes arcillas y limos. La Sierra Nombre de Dios presenta algunos abanicos aluviales sobre los arroyos Los Muertos, El Romerillo y Las Palmitas; y la Sierra El Cuervo presenta abanicos aluviales sobre los arroyos El Mezquite, La Herradura, La Violeta y El Mimbre.

1.51.3.1 Geología del subsuelo

El acuífero que se encuentra alojado en un sistema granular no consolidado de origen aluvial, constituido por depósitos de arenas intercaladas con limos y arcillas, cuyos

espesores varían entre 50 y 800 m. Debajo de este paquete aluvial, existe una secuencia volcanoclástica de riolitas, andesitas, tobas y piroclastos, cuyas permeabilidades varían de baja a media, lo cual genera la posibilidad que el acuífero esté conformado por dos medios, granular y fracturado.

1.51.4 HIDROGEOLOGÍA

El acuífero Tabalaopa-Aldama, es de tipo libre, presenta una permeabilidad que varía de media a baja y se aloja en sedimentos aluviales depositados en el centro del valle, constituidos por arenas intercaladas con arcillas y limos estratificados, cuyo espesor puede alcanzar los 800 m. La fuente principal de recarga es el agua de lluvia que se infiltra en las zonas topográficamente altas, una menor fuente de recarga está representada por infiltración vertical del agua de lluvia que se precipita en el valle y por los retornos de riego agrícola.

1.51.4.1 Parámetros hidráulicos

Presenta valores de transmisividad de más de 4,800 m²/día. La conductividad hidráulica oscila entre 0.0085 y 9.7632 m/día. Los parámetros más altos se registran en los aprovechamientos ubicados en las inmediaciones del Río Chuvíscar.

1.51.4.2 Profundidad del nivel estático

La profundidad al nivel estático refleja variaciones considerables, desde 2.4 hasta 141 m; siendo éste último la profundidad máxima, al sureste del acuífero. Las profundidades someras al nivel estático, se encuentran en la cercanía del Río Chuvíscar, la profundidad mínima es de 2.4 m cercano al Bosque de Aldama. Los valores de profundidad al nivel del agua subterránea se incrementan de la zona aledaña al cauce del Río Chuvíscar hacia las partes topográficamente elevadas.

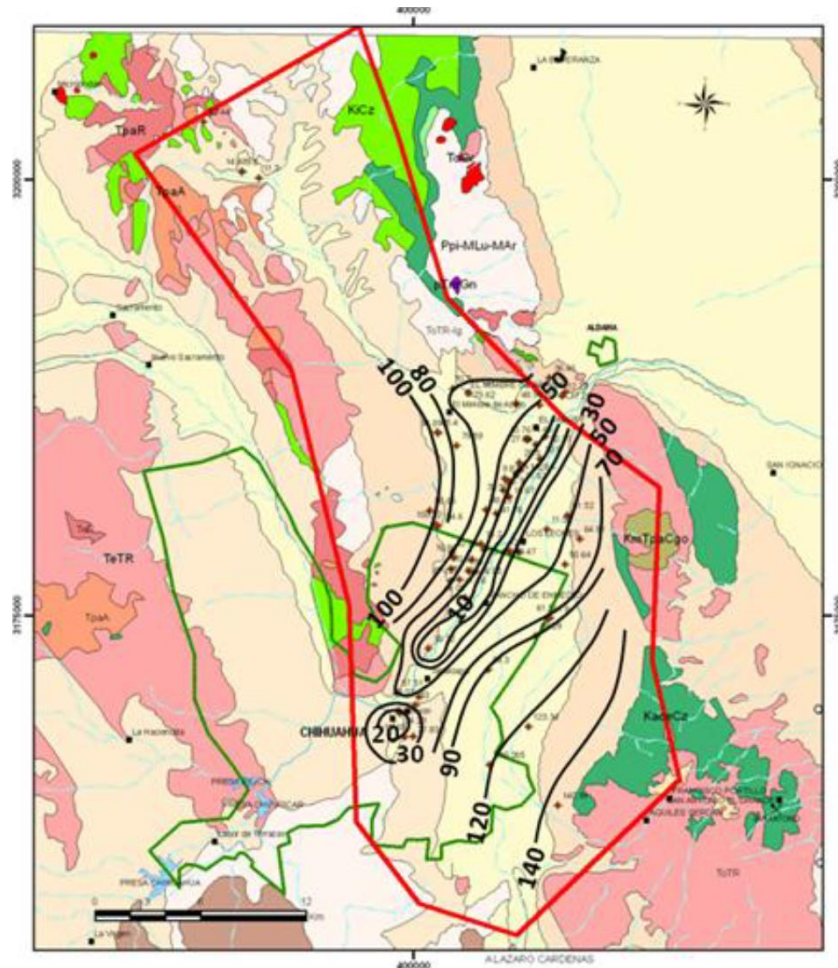


Figura 1.1.88. Profundidad del nivel estático, 2007

1.51.4.3 Elevación del nivel estático.

La elevación del nivel estático en el acuífero varía de 1,250 a 1,390 msnm en el centro y sur del acuífero, respectivamente; se manifiesta la presencia de conos de abatimiento provocados por la batería de pozos que abastecen de agua potable a la Ciudad de Chihuahua, en la porción occidental del acuífero, con elevaciones de 1,260 y 1,280 msnm. La dirección del flujo subterráneo muestra una trayectoria preferencial suroeste-noreste, paralela al escurrimiento del Río Chuvíscar, con alimentaciones laterales importantes provenientes de las sierras que delimitan el valle.

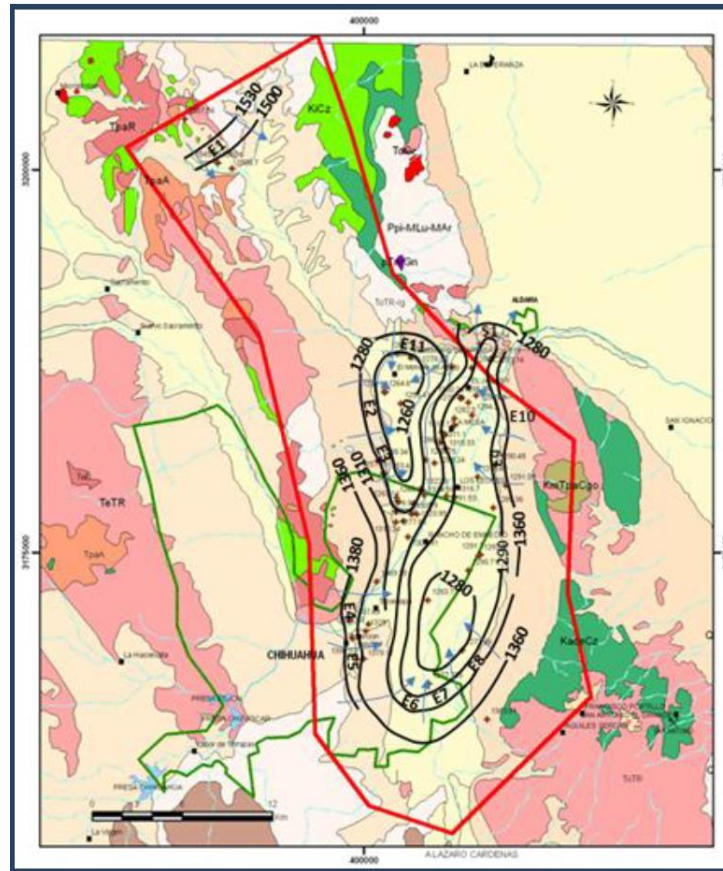


Figura 1.1.89. Elevación del nivel estático en msnm, 2007

La evolución del nivel estático para el periodo comprendido de 1971 a 2012, presentaba valores puntuales que variaban de 9.55 metros de recuperación a 41.69 metros de abatimiento, localizándose la zona de recuperaciones en áreas paralelas al Río Chuvíscar, de la parte media a la parte baja del acuífero; mientras que los mayores abatimientos se muestran hacia la parte alta de la cuenca en la zona centro-poniente, donde se presentaba un abatimiento de 40 metros, disminuyendo los abatimientos hacia el sur con 20 metros.

1.51.4.4 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

El agua subterránea del acuífero Tabalaopa-Aldama, es de tipo bicarbonatada cálcica en las porciones norte y oriente, probablemente relacionadas con la composición de las calizas de las sierras Santa Eulalia y La Gloria. En la porción central del acuífero el agua es del tipo bicarbonatada mixta, mientras que hacia el suroeste es de tipo de bicarbonatada sódica, cuya naturaleza se debe a probables fenómenos modificadores de intercambio iónico entre el agua y el medio poroso del acuífero, compuesto por materiales granulares derivados de rocas volcánicas riolíticas.

1.52 TORREÓN DE CAÑAS

1.52.1 INFORMACIÓN GENERAL

El acuífero Torreón de Cañas, clave 1014, se localiza en la porción norte del Estado de Durango, cubriendo una superficie de 662 Km²; comprende parcialmente a los municipios de Ocampo e Hidalgo, ambos en el Estado de Durango, y administrativamente corresponde a la Región Hidrológico-Administrativa "Cuencas Centrales del Norte".

1.52.2 FISIOGRAFÍA

El acuífero Torreón de Cañas, se encuentra ubicado dentro de las Provincias Fisiográficas Sierra Madre Occidental y Sierras y Llanuras del Norte, abarcando parte de dos Subprovincias Fisiográficas: las porciones centro y norte se localizan en la Subprovincia Bolsón de Mapimí; la región sur se ubica en la Subprovincia Sierras y Llanuras de Durango.

1.52.3 GEOLOGÍA

En la región en la que se ubica el acuífero Torreón de Cañas, afloran rocas sedimentarias, ígneas volcánicas e intrusivas, cuyo registro estratigráfico comprende del Cretácico al Reciente.

Las rocas más antiguas que afloran en el área y conforman el basamento, pertenecen al Grupo Mezcalera representada por una alternancia de calizas arcillosas, margas, areniscas y lutitas, depositadas por corrientes turbidíticas, probablemente en un ambiente de cuenca postarco.

En el área se asignó al Cretácico Inferior, presenta pequeñas cabalgaduras consecuencia de la Orogenia Laramide, la cual culminó durante el Eoceno Tardío.

El Grupo Mezcalera está cubierto discordantemente por una secuencia andesítica del Paleoceno-Eoceno, intrusionadas por cuerpos volcánicos.

En la porción occidental, en la Sierra Atotonilco se observan dos cabalgaduras importantes; la primera denominada Cabalgadura Atotonilco, está orientada en sentido noroestesureste y vergencia hacia el suroeste; mientras que la segunda denominada Boquilla de FernándezBellavista, está orientada noroestesureste con vergencia al noreste. Es importante mencionar que entre dichas estructuras se presenta un anticlinal recumbente, denominado Atotonilco, el cual está orientado al noroeste-sureste y verge al suroeste.

En la porción suroriental se presenta la Sierra Agua Puerca, que es un anticlinal recumbente, orientado al noroestesureste con vergencia al noreste, el cual es afectado por la falla sinistral Agua Puerca y al oriente de ésta se presenta la Cabalgadura Lomas Las Cuatas, la cual está orientada noroestesureste, con vergencia al suroeste, misma que en su porción sur es afectada por la falla dextral El Caracol.

1.52.3.1 Geología del subsuelo

1.52.4 HIDROGEOLOGÍA

El acuífero es de tipo libre en el que el agua subterránea se desplaza principalmente en un medio poroso constituido por materiales clásticos aluviales de granulometría diversa y en menor proporción conglomerados, de permeabilidad media a baja, que constituyen el valle

aluvial y el cauce de los arroyos, depositados en un valle cuyos flancos están conformados por las rocas sedimentarias principalmente de naturaleza calcárea y en menor proporción areniscas y lutitas. El espesor de los depósitos sedimentarios es de algunas centenas de metros en el centro del valle y disminuye gradualmente hacia los flancos. Esta es la unidad que se explota actualmente para satisfacer las necesidades de agua de la región.

1.52.4.1 Parámetros hidráulicos

En el territorio que cubre el acuífero no se han realizado pruebas de bombeo para la determinación de las propiedades hidráulicas del acuífero.

1.52.4.2 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

Los resultados de los análisis fisicoquímicos practicados a las escasas muestras de agua, indican que el agua subterránea presenta baja salinidad, con concentraciones de sólidos totales disueltos menores a los 1,000 mg/L de acuerdo a lo establecido en la NOM-127-SSA1-1994.

La concentración de sólidos totales disueltos presenta valores que varían de 185 a 335 mg/L. La menor concentración se registró en el aprovechamiento ubicado en la parte topográficamente más alta, localizada en la parte centro del acuífero, mientras que la mayor se presenta en la porción noroeste, reflejando de esta manera la dirección preferencial del flujo subterráneo.

1.53 VALLE DE ZARAGOZA

1.53.1 INFORMACIÓN GENERAL

El acuífero Valle de Zaragoza, clave 0844, se ubica en la porción sur del Estado de Chihuahua, abarcando una superficie aproximada de 4,036 Km²; comprende casi en su totalidad a los municipios de Valle de Zaragoza e Hidalgo del Parral; en menor proporción a los municipios de Satevó, Rosario, Allende y San Francisco de Conchos, así como una pequeña área del Municipio de Saucillo, todos del Estado de Chihuahua.

1.53.2 FISIOGRAFÍA

Con base en la regionalización fisiográfica del Instituto Nacional de Estadística y Geografía, el acuífero se ubica en la zona de transición entre la Provincia Sierra Madre Occidental, Subprovincia Sierras y Llanuras de Durango y Provincia Sierras y Llanuras del Norte y Subprovincia Bolsón de Mapimí.

1.53.3 GEOLOGÍA

La geología general en el acuífero, está constituida por rocas sedimentarias e ígneas. La unidad más antigua que aflora en el área está representada por una alternancia, metalavas y calizas del Paleozoico Superior, seguidas por la secuencia rítmica de areniscas y lutitas de edad Jurásico Superior. Del Cretácico Inferior afloran lutitas y calizas, sobreyacidas por una unidad de andesitas masivas. Sobreyaciendo discordantemente a la Formación Mezcalera, afloran unidades de andesitas, toba andesíticas y areniscas. En el Oligoceno, se desarrolla el vulcanismo riolítico que descansa discordantemente sobre la secuencia volcánica inferior.

Posteriormente se inicia el depósito de conglomerados polimícticos, que cubren discordantemente a la secuencia riolítica y contemporáneamente a este evento inicia el

vulcanismo básico que aparece intercalado en los conglomerados a los cuales finalmente cubre. Por último, durante el Cuaternario se depositan los sedimentos arenoarcillosos de poco espesor, originados por la depositación de sedimentos arcillosos en las márgenes de los arroyos, formando planicies de inundación, finalmente producto de la erosión de las unidades preexistentes se depositan arenas y gravas mal clasificados en los cauces de los arroyos, que son depositados por las corrientes fluviales de ríos y arroyos.

En la región cubierta por el acuífero se encuentran expuestas rocas sedimentarias, ígneas, intrusivas e extrusivas, cuyo rango de edad abarca del Jurásico Superior al Holoceno. La más antigua corresponde a una secuencia de lutitas, limolita y areniscas con intercalaciones de conglomerado polimíctico, calizas y escasos metasedimentos, que por su micropaleontología fueron ubicados en un rango que varía del Jurásico Superior.

1.53.3.1 Geología del subsuelo

1.53.4 HIDROGEOLOGÍA

De acuerdo a la información hidrogeológica que se tiene se puede definir al acuífero Valle de Zaragoza del tipo libre heterogéneo y anisótropo, constituido en su porción superior por sedimentos aluviales, fluviales de granulometría variada y conglomerados, cuyo espesor puede alcanzar algunas centenas de metros en el centro del valle. A mayor profundidad las rocas calizas y areniscas representan un acuífero con características confinantes, cuyo potencial, aún no ha sido explorado.

1.53.4.1 Parámetros hidráulicos

En el territorio que cubre el acuífero no se han realizado pruebas de bombeo para la determinación de las propiedades hidráulicas del acuífero.

1.53.4.2 Profundidad y elevación del nivel estático

No se cuenta con información piezométrica que permita elaborar las configuraciones de profundidad, elevación y evolución del nivel estático.

1.53.4.3 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

El agua del acuífero Valle de Zaragoza, se clasifica en dos tipos, la que presenta contenido bajo de sales y baja concentración de sodio intercambiable, y la que presenta contenido medio de sales y baja concentración de sodio. Con esta clasificación el agua es apta para el uso agrícola. Sólo hacia las zonas topográficamente más bajas, en las que se acumulan temporalmente los escurrimientos superficiales y en aprovechamientos que muestran la influencia de la disolución de yesos, el agua puede no ser apta para uso agrícola y potable, debido al incremento en la concentración de sodio, cloruro y sulfatos.

1.54 VILLALBA

1.54.1 INFORMACIÓN GENERAL

El acuífero Villalba, clave 0840, se localiza en la porción central del Estado de Chihuahua. El acuífero cubre una superficie aproximada de 1,908 Km² y comprende parcialmente a los

municipios de Chihuahua, Aquiles Serdán y Rosales, todos ellos pertenecientes al Estado de Chihuahua. Administrativamente corresponde a la región del Río Bravo.

1.54.2 FISIOGRAFÍA

El acuífero Villalba, se encuentra en el límite de las Provincias Fisiográficas Sierras y Llanos del Norte y Sierra Madre Occidental, de acuerdo al Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

1.54.3 GEOLOGÍA

En la superficie del acuífero Villalba, clave 0840, afloran calizas, lutitas y areniscas plegadas de origen marino del Mesozoico, conglomerados polimícticos, rocas volcánicas de composición andesítica, riolítica y basáltica del Cenozoico, así como sedimentos no consolidados de origen aluvial, fluvial y lacustre del Reciente.

Las rocas volcánicas de composición andesítica del Oligoceno afloran únicamente al este del acuífero, en el Cerro Tres Palos y al sur de la Sierra Alta; presentan estructura compacta y masiva, y por lo general, subyacen a las rocas de composición riolítica, dentro de las que se agrupan tobas de caída libre, flujos piroclásticos, tobas cristalovítreas, tobas líticas e ignimbritas.

Algunas tobas e ignimbritas presentan estructura columnar, zonas de alteración y se encuentran sumamente fracturadas, con una morfología de mesetas basculadas profundamente disectadas. Las rocas riolíticas que se presentan como derrames de origen fisural, afloran en los márgenes exteriores de la Sierra La Silla y Los Frailes dentro de la denominada Caldera de Pastorías. Los derrames de basalto presentan textura porfídica, con fenocristales de olivino y de plagioclasa, en ocasiones presenta amígdalas de sílice y tiene la apariencia de una roca vítrea; morfológicamente forman mesetas y lomeríos de suave pendiente; los afloramientos principales se observan en la sierras Los Ojitos, Mesa Los Lobos y en la porción suroeste de la Sierra Santo Domingo.

Los sedimentos de origen aluvial, corresponden al último depósito del Holoceno y están conformados por gravas, arenas y arcillas como resultado de la erosión de las rocas preexistentes. Sus afloramientos se restringen a los cauces de los arroyos

Los Carrizos, El Saucillo, San Rafael y Río San Pedro.

El control estructural de la Sierra de Santo Domingo es de gran importancia debido a que fue afectada por al menos dos deformaciones, la primera fue la Orogenia Laramide, la cual plegó la secuencia sedimentaria formando un suave anticlinal de rumbo nortesur, lo que generó un fracturamiento característico de esta estructura. La segunda deformación corresponde al evento de Cuencas y Sierras, que por ser de tipo distensivo generó fallas normales en varias direcciones, que se manifiestan a través de arroyos alineados y escarpados, tales como el Arroyo La Chinche, Los Picachos, Potrero de Mápula y las cañadas Las Palomas, La Virgen, La Víbora y La Cantera. Dentro del acuífero Villalba, clave 0840, en la porción suroeste de la Sierra

Santo Domingo, se presenta la prolongación de las fallas La Central y Oriente Poniente, lo cual genera la posibilidad de que estas estructuras aporten agua al acuífero a través de un sistema de flujo regional.

1.54.4 HIDROGEOLOGÍA

El acuífero Villalba, clave 0840, es de tipo semiconfinado, su permeabilidad varía de media a alta, el material relleno está constituido de arenas de grano fino intercaladas con abundantes arcillas y limos estratificados que generan semiconfinamientos locales. Tiene como principal fuente de recarga la infiltración de agua de lluvia que ocurre en zonas topográficamente altas con permeabilidades que varían de media a alta, y en menor proporción, una fuente de recarga es la lluvia que se infiltra en la zona de valles.

Su espesor varía desde algunos metros en las estribaciones de los piedemonte, hasta algunos cientos de metros en el centro del valle. El basamento sobre el que descansa la secuencia paleozoica y mesozoica está constituida por gneises, anfibolitas, granitos y otras rocas metamórficas de edad Precámbrico, que han sido sometidas a fases compresivas y distensivas, y que conforman grandes bloques emergidos o hundidos.

1.54.4.1 Parámetros hidráulicos

En el territorio que cubre el acuífero no se han realizado pruebas de bombeo para la determinación de las propiedades hidráulicas del acuífero.

1.54.4.2 Profundidad del nivel estático

La profundidad al nivel de saturación o estático, medida desde la superficie del terreno, varía de 5 a 150 m. Al norte del acuífero la profundidad al nivel estático varía de 100 a 150 m, mientras que en la zona centro-norte las profundidades son del orden de 10 m, al extremo sur del acuífero los niveles tiene profundidades desde 5 m en los alrededores de la Presa Francisco I. Madero, y hasta más de 50 m a medida que se avanza hacia el extremo oriente del acuífero.

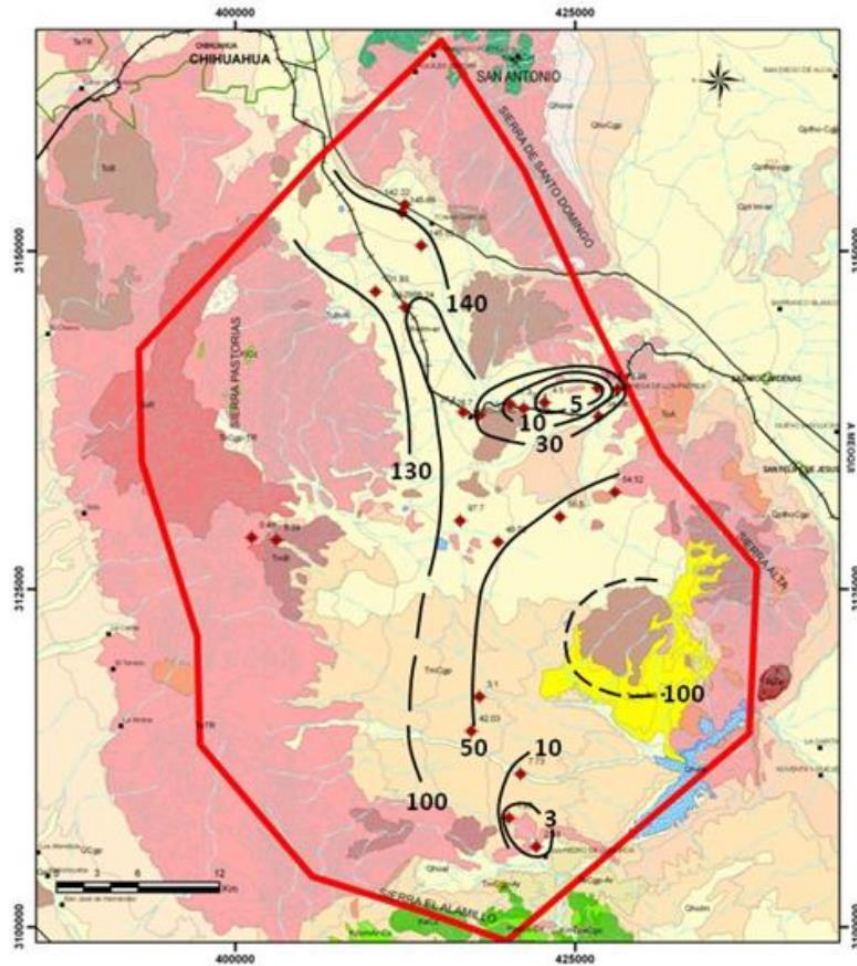


Figura 1.1.90. Profundidad al nivel estático en m (2007)

1.54.4.3 Elevación del nivel estático

La configuración de curvas de igual elevación del nivel estático presenta elevaciones que varían de 1,280 hasta 1,400 msnm, los valores más altos se registran hacia la porción norte del acuífero y los menores hacia el sureste, reflejando de esta manera la dirección preferencial del flujo subterráneo. La configuración de elevación de nivel estático evidencia la presencia de entradas y salidas naturales del acuífero a través de flujos horizontales. Se trata de entradas provenientes del extremo poniente del acuífero, y de una salida en el extremo oriente, al sur de la comunidad Ciénega de los Padres, mientras que una segunda salida se localiza en el extremo sur del acuífero.

La configuración de la elevación del nivel estático no muestra aún alteraciones del flujo natural del agua subterránea que indiquen la presencia de conos de abatimiento causados por la concentración de pozos, por lo que se puede afirmar que las variaciones en el nivel del agua subterránea no han sufrido alteraciones importantes en el transcurso del tiempo, por lo que el cambio de almacenamiento tiende a ser nulo.

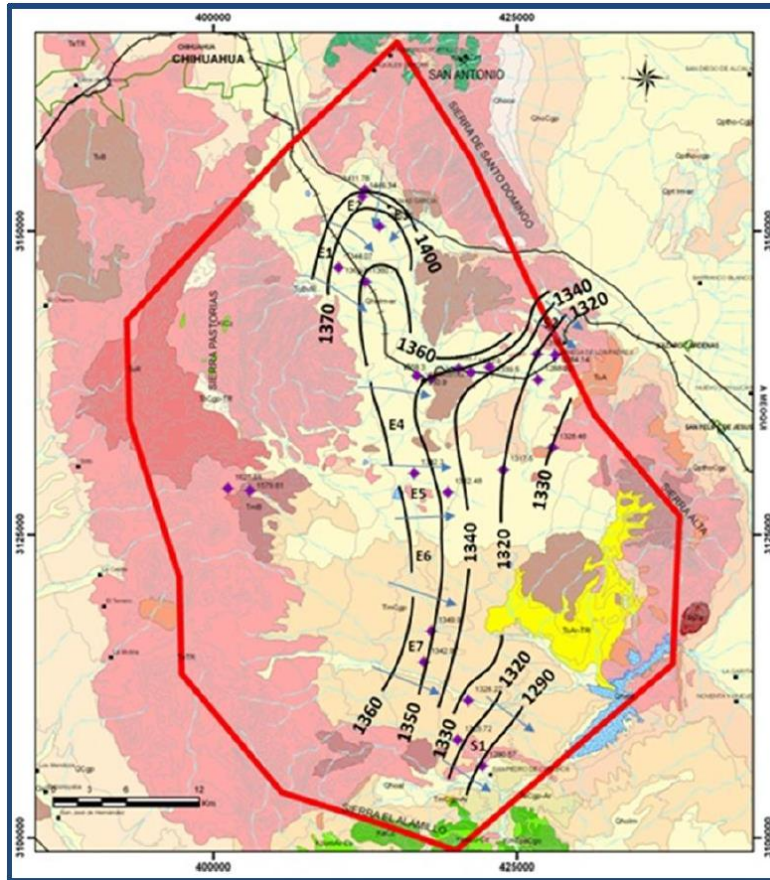


Figura 1.1.91. Elevación del nivel estático en msnm (2007) y celdas de flujo

1.54.4.4 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

Se clasifica como cálcica bicarbonatada; hacia el norte, oriente y sur, el agua es de tipo cálcica-sódica bicarbonatada. Estas características son atribuibles a las rocas ígneas y calizas que dominan en el área.

Existen mayores concentraciones de bicarbonatos en el área contigua a Sierra Pastoras, las cuales señalan a ésta como zona de recarga.

Las concentraciones de sólidos disueltos totales varían entre 180 mg/L y 400 mg/L, observándose los valores bajos hacia la parte central del acuífero, las cuales se incrementan hacia el sur y en menor proporción hacia el norte. Se confirma la dirección de flujo preferente de norte a sureste, con una salida hacia el norte; esta última apoyada también por el incremento de cloruros, calcio, sodio, sulfatos y flúor en esa dirección.

1.2 ACUÍFEROS DE ESTADOS UNIDOS (TEXAS)

HUECO – MESILLA BOLSÓN

INFORMACIÓN GENERAL

El acuífero Hueco – Mesilla Bolsón se localiza entre las fronteras de Nuevo México, el centro de Texas y en el área de El Paso y Ciudad Juárez (figura 2.1.1). Este acuífero ha sido la principal fuente de agua potable por varias décadas y tiene una extensión de aproximadamente 3,548.28 Km².

Los acuíferos se componen de depósitos terciarios y cuaternarios de relleno (bolsón) que se extienden hacia el norte en Nuevo México y hacia el oeste en México.

El Bolsón del Hueco, al este de las Montañas Franklin, es el acuífero principal en el área de El Paso; al oeste se encuentra el Mesilla Bolsón. Ochenta y siete por ciento del agua bombeada de los acuíferos se utiliza para el suministro municipal, principalmente para la ciudad de El Paso. A través de la frontera internacional, el agua para Ciudad Juárez es suministrada por el Hueco Bolsón.

El acuífero tiene aproximadamente 2.74 Km de espesor total, compuesto principalmente de limo, arena y grava en la parte superior, y arcilla y limo en la parte inferior. Solo las partes altas del Bolsón presentan agua potable con una ligera salinidad.

La mayoría del agua del Hueco en Texas ocurre en el área metropolitana de El Paso; en menor medida ocurre en el condado de Hudspeth.

Debido al clima desértico y a la geología local, este acuífero tiene una velocidad de recarga lenta y las extracciones de agua han ocasionado una gran pérdida en el nivel del agua y en los volúmenes de agua potable (Sheng et al., 2001)

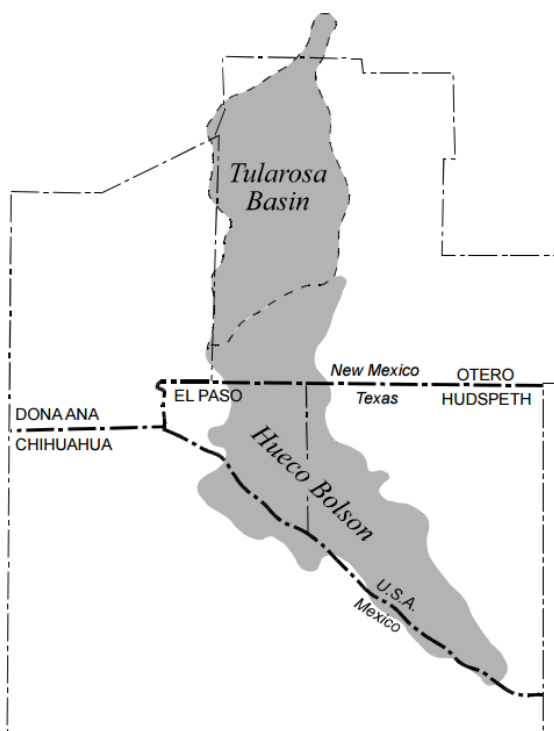


Figura 1.54.1. Localización del acuífero Hueco Bolson, Texas

Conductividad Hidráulica

La conductividad hidráulica del acuífero varía entre 1.95 a 30.14 m/día (6.4 - 98.9 ft/día) (Sheng et al., 2001). Este acuífero presenta una extracción mayor a su recarga (TWDB, 2011).

Calidad del Agua

La calidad del agua en el Hueco Bolsón varía dependiendo la locación y la profundidad. En la zona de Texas tiende a presentar una calidad mejor en el lado oeste que en el este. Hacia el norte entre el borde de Nuevo México y Texas, el agua presenta concentraciones de sólidos totales disueltos, STD, mayores a los 1,000 mg/L. La parte superior del acuífero presenta concentraciones de STD entre 500 y 1,500 mg/L con un promedio alrededor de 640 mg/L (TWDB, 2011).

Nivel estático

Los niveles de profundidad del agua en el acuífero Hueco Bolsón varían entre 6 y casi 46 metros (20 - 150 ft) cerca de las ciudades de Tularosa y Alamogordo, mientras que en El Paso oscila entre 76.2 a 121.92 metros (250 - 400 ft); en Ciudad Juárez los rangos presentan valores de 30.40 a 76.2 metros (100 - 250 ft).

El acuífero de Hueco-Mesilla Bolsón, situado al este y al oeste de las montañas Franklin en Far West Texas, es reconocido como un importante acuífero en el estado de Texas. El acuífero es compuesto de depósitos tales como arena, grava y arcilla en dos cuencas o bolsones: el Hueco Bolsón, que tiene un espesor máximo de 2,743.2 m, y el Mesilla Bolsón, que tiene un grosor máximo de 609.6 m. Aunque el Hueco y Mesilla comparten geología similar, es poca el agua que viaja entre ellos.

La porción superior del Hueco Bolsón contiene agua ligeramente salina, con valores entre 1,000 a 3,000 mg/L de SDT. El Mesilla Bolsón también contiene agua dulce a salada, que va desde 1,000 a 10,000 o más mg/L de SDT. Su salinidad aumenta generalmente hacia el sur y en las partes más superficiales del acuífero. En ambos acuíferos, la disminución del nivel estático contribuyó al aumento de salinidad.

El Hueco Bolsón es el acuífero principal para El Paso y Ciudad Juárez en México, casi el 90% del agua bombeada del acuífero Mesilla-Hueco Bolsón en Texas se utiliza para el suministro público. Los niveles de agua han disminuido varios cientos de pies debido principalmente al bombeo municipal en el Hueco Bolsón a finales de los 80'. Desde entonces, sin embargo, se ha observado que en los pozos los niveles de agua se han estabilizado.

El grupo de planeación de la Región E, recomienda el uso conjunto del agua desde Río Grande con aguas subterráneas y el acuífero Hueco-Mesilla Bolsón como una estrategia en el manejo del agua. Además, El Paso y Fort Bliss han construido la planta desalinizadora más grande del mundo en el condado de El Paso, Texas.

Geología

Las unidades estratigráficas más antiguas, en la porción sudeste del Acuífero del Hueco son principalmente las rocas clásticas y carbonatadas del Cretácico que aflora en las porciones elevadas y yacen bajo los sedimentos del bolsón (Fisher y Mullican, 1990).

Hidrogeología

El Bolsón Hueco es un graben asimétrico de la Provincia *Basin and Range* y está conformada por las formaciones *Camp Rice* y *Fort Hancock*. El subsuelo de Ciudad Juárez tiene un asentamiento de más de 1,000 m de profundidad y está lleno con sedimentos neógenos de lacustres, fluviales, eólicos y aluviales (Figura __). La siguiente descripción utiliza terminología estratigráfica aplicada localmente en Texas y Nuevo México. Arena fluvial y grava de la Formación *Camp Rice*, de hasta 300 m de espesor, lacustre y arcilla de la Formación *Fort Hancock*.

El acuífero en la parte aluvial es somero, con niveles de profundidad cercanos a los 2 m, sin extenderse el acuífero a no más de 30 metros por debajo de la superficie.

WEST TEXAS BOLSONS

INFORMACIÓN GENERAL

De acuerdo a la definición de acuíferos establecida por el Texas Water Development Board, el acuífero *West Texas Bolsons* es considerado un acuífero menor o secundario. Está compuesto por pequeños acuíferos localizados en las regiones de Culberson, Hudspeth, Jeff Davis y Presidio y abarca un área de aproximadamente 4,908 Km² (figura 2.2.1).

El acuífero West Texas Bolsons se puede subdividir, basados en la fisiografía de los acuíferos en Red Light Draw, Green River Valley y Eagle Flat.

El espesor saturado de agua dulce presenta un promedio de alrededor de 580 ft.

La calidad del agua subterránea varía en función de la cuenca, con valores de agua dulce de menos de 1,000 mg/L de SDT, y agua ligeramente a moderadamente salina, que contiene entre 1,000 y 4,000 mg/L de SDT. El agua subterránea es utilizada para riego y ganadería en el área y para el suministro municipal en las ciudades de Presidio, Sierra Blanca, Valentine y Van Horn.

Desde la década de 1950 hasta la actualidad, el nivel estático del agua en el acuífero West Texas Bolsons, y los mayores desniveles se producen al sur de Van Horn en el área de Lobo Flats y al Este en el área de Horse Basin.

La planificación de la región e grupo, en su plan regional de aguas 2006, no recomienda ninguna estrategia de manejo del agua utilizando el acuífero de los bolsones del oeste de Texas.

Geología

La geología que comprende la zona del acuífero West Texas Bolson datan de las eras Precámbrica, Pérmico, Cretáceo y depósitos del Cenozoico.

En general, la geología consiste en tres depósitos de cuencas cenozoicas (Red Light Draw, Green River Valley y Eagle Flat), los cimientos de las cordilleras adyacentes y la parte sur de la Meseta de Diablo.

El régimen de estrés regional en el oeste de Texas se extendió alrededor de hace 30 millones de años. En general, grandes cantidades de sedimento fueron arrojadas desde montañas Cuencas adyacentes, llenándolas parcialmente y construyendo amplias laderas

aluviales, abanicos aluviales, Y bajadas que ahora rodean las sierras. Aunque muchos de los Las cuencas intermontanas del oeste de Texas no presentan actualmente drenaje interno, Bolsón se utiliza a menudo para describir las cuencas porque contienen depósitos que Depositado cuando las cuencas estaban drenadas internamente. La historia del Río Grande El área de estudio no ha sido estudiada en detalle, aunque sobre la base de estudios El área de Bolsón de Hueco situada al oeste de las montañas de Quitman, un sistema ancestral del río Rompió un bolsón lacustre estableciendo hace unos 2,2 millones de años y el río estaba a través de (Strain, 1966, 1971, Mack y otros, 1998). La deposición de la cuenca El Pleistoceno temprano. Desde el Pleistoceno temprano, los períodos de downcutting y de relleno Deposición.

El acuífero está conformado por limos y arenas en el noroeste del Terciario y Cuaternario. Conglomerados y areniscas, compuesto por las formaciones Bluff Mesa y Benavides (figura 2.1.1 y 2.1.2).

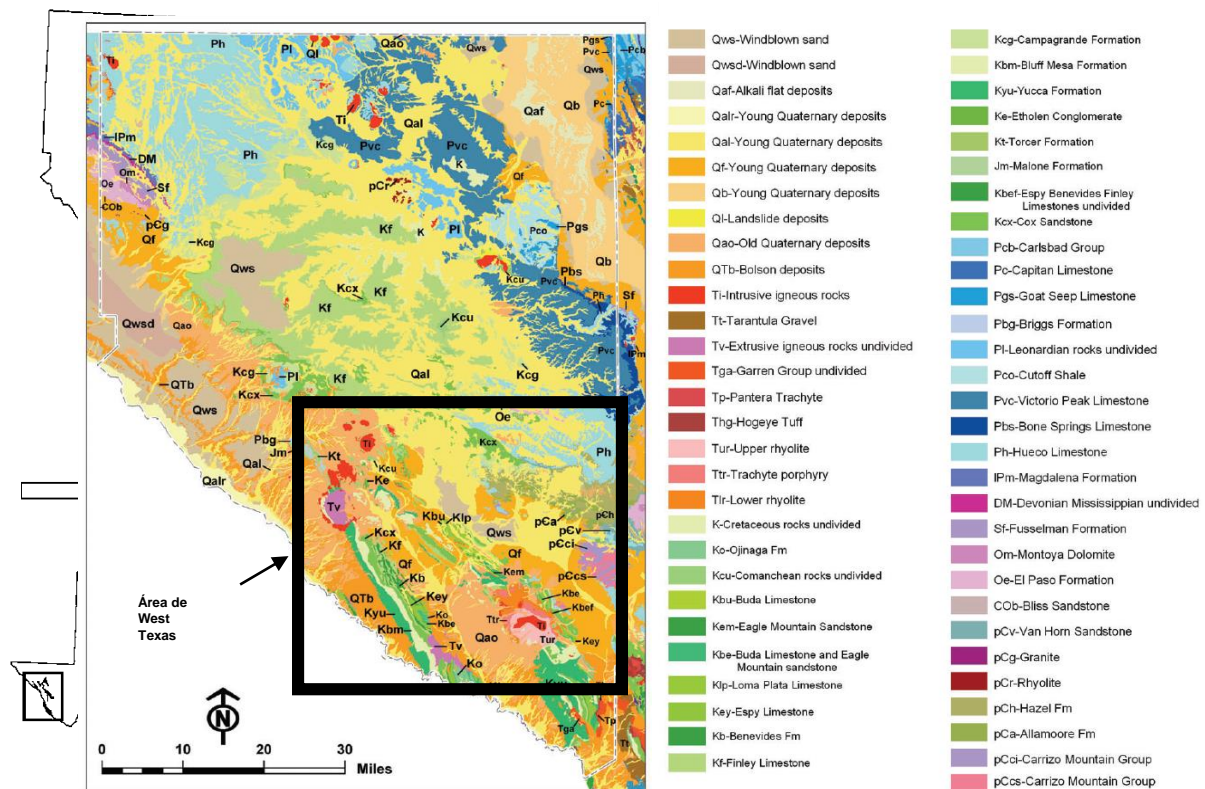


Figura 1.54.2. Geología general del acuífero West Texas Bolsons

SISTEMA	UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS
Cuaternario	Depósitos recientes del Cuaternario
	Suelo Arenoso
	Depósitos antiguos del Cuaternario
	Depósitos del Bolsón
Terciario	Rocas volcánicas
	Rocas Ígneas Intrusivas
	Toba Chambers
	Grupo Garren
	Grava Tarántula
	Toba Hogeye
	Yacimiento Traquítico
	Riolita Superior
	Traquítico Pantera
Cretácico	Depósitos del Cretáceo
	Caliza Buda
	Arenisca Eagle Mountain
	Caliza Espy
	Formación Benavides
	Caliza Finlay
	Arenisca Cox
	Formación Bluff Mesa
	Formación Yucca
	Conglomerado Etholean
	Formación Torcer
Jurásico	Formación Malone
Pérmico	Calizas del Hueco
Cretácico-Paleozoico	
Precámbrico	Grupo Carrizo Mountain
	Depósitos Precámbricos

Figura 1.54.3. Unidades Estratigráficas de la zona del acuífero West Texas Bolsón (TWDB, 2008)

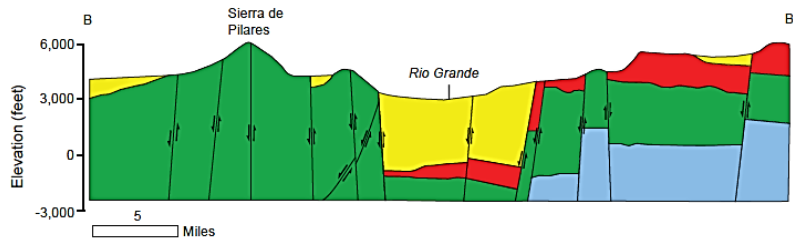
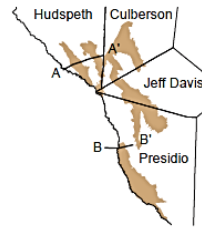
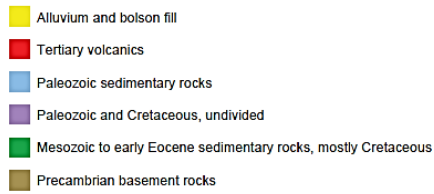
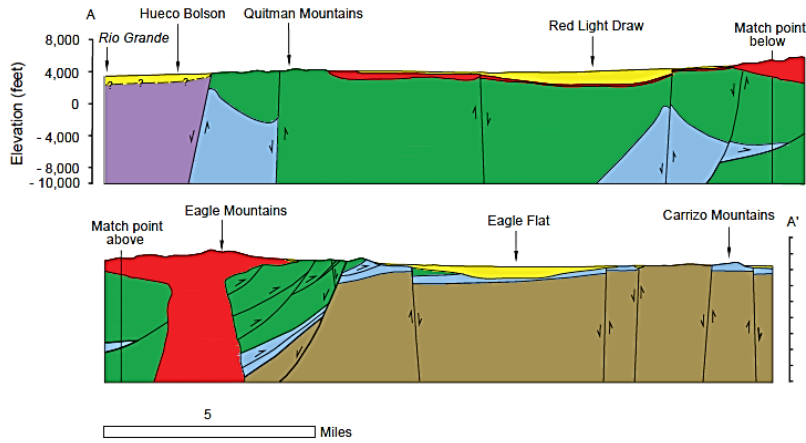


Figura 1.54.4. Perfil geológico del acuífero West Texas Bolsons

Nivel estático y flujo del agua subterránea

El mapa del nivel estático del acuífero West Texas Bolson en la zona del Condado de Hudspeth (figura 2.2.3) generalmente, los niveles son más altos en el área de las montañas y niveles más someros en las cuencas intermedias. De acuerdo a Darling (1997) existe una baja correlación entre los niveles estáticos con respecto a la topografía, el cual sigue se debe a dos regímenes hidrológicos diferentes.

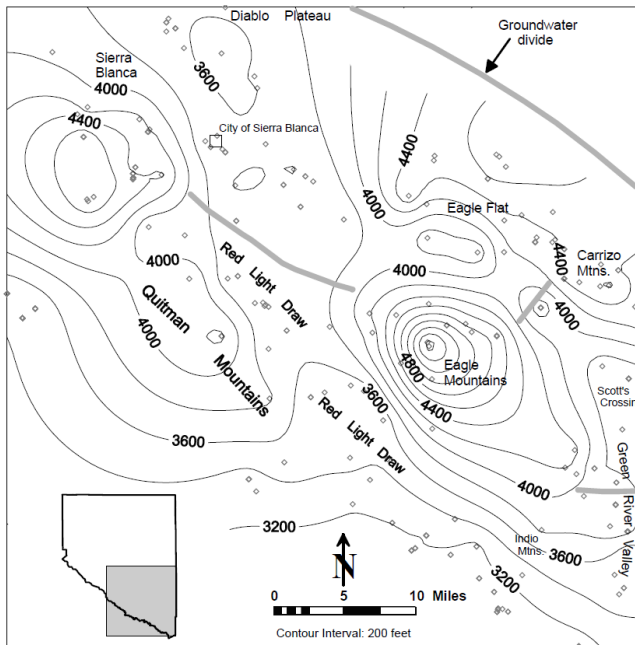


Figura 1.54.5. Profundidades del nivel estático del acuífero West Texas Bolsons

IGNEOUS

INFORMACIÓN GENERAL

El acuífero *Igneous* es un acuífero menor o secundario del estado de Texas, Estados Unidos. Es la principal fuente de agua subterránea de los condados de Brewster, Jeff Davis y Presidio (Figura 2.3.1), cuenta con una extensión de aproximadamente 15,734.18 Km².

“Trans-Pecos” es un término comúnmente utilizado para referirse al área de Texas que comprende el oeste del Río Pecos. El Desarrollo del Agua de Texas (TWDB) clasifica el acuífero Igneous en tres áreas divididas debido a la demanda de agua de las comunidades de Alpine, Fort Davis y Marfa.

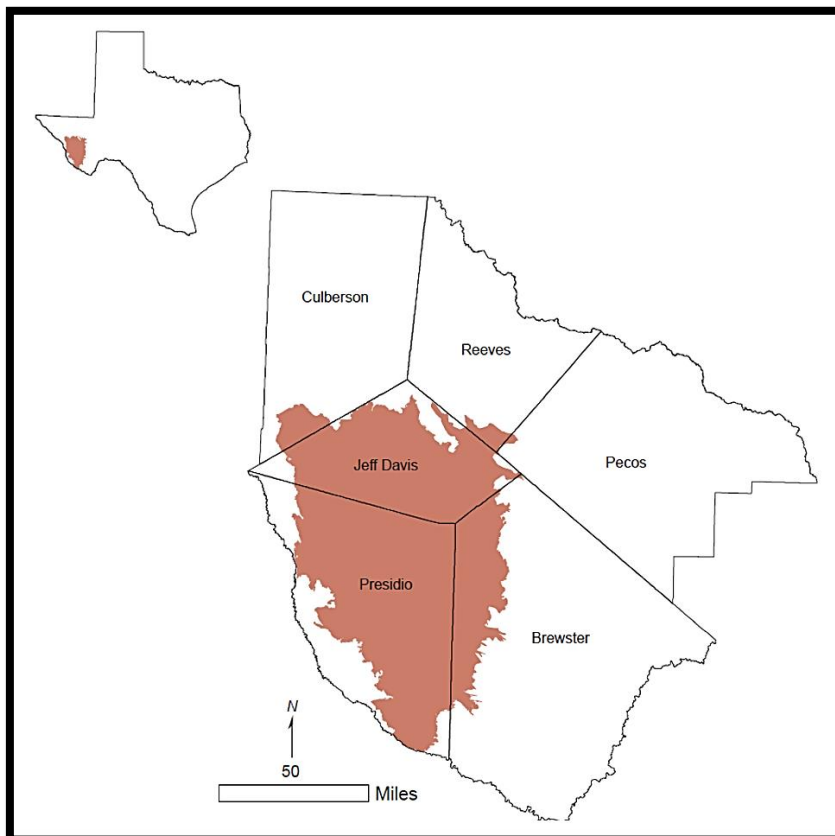


Figura 1.54.6. Localización del acuífero Igneous, (TWDB, 2011)

GEOLOGÍA

La geología de Trans-Pecos es probablemente la más compleja del estado de Texas. La región fue inundada por el océano hace billones de años, la actividad tectónica ha causado deformaciones, abatimiento y fallas en el subsuelo.

La figura 2.3.2 muestra el mapa geológico de los condados de Brewster, Jeff David y Presidio.

La capa geológica más antigua en Trans-Pecos presenta rocas del Precámbrico y de Montañas del Carrizo y de las inmediaciones del oeste del condado Culberson.

Los rendimientos de los pozos en el acuífero *Igneous* varían ampliamente debido a la amplia gama de permeabilidad de los basaltos; las permeabilidades más bajas generalmente ocurren en las secciones inferiores, y las permeabilidades moderadamente altas ocurren en las capas superiores que presentan fracturas y fallas geológicas (TWDB,2001).

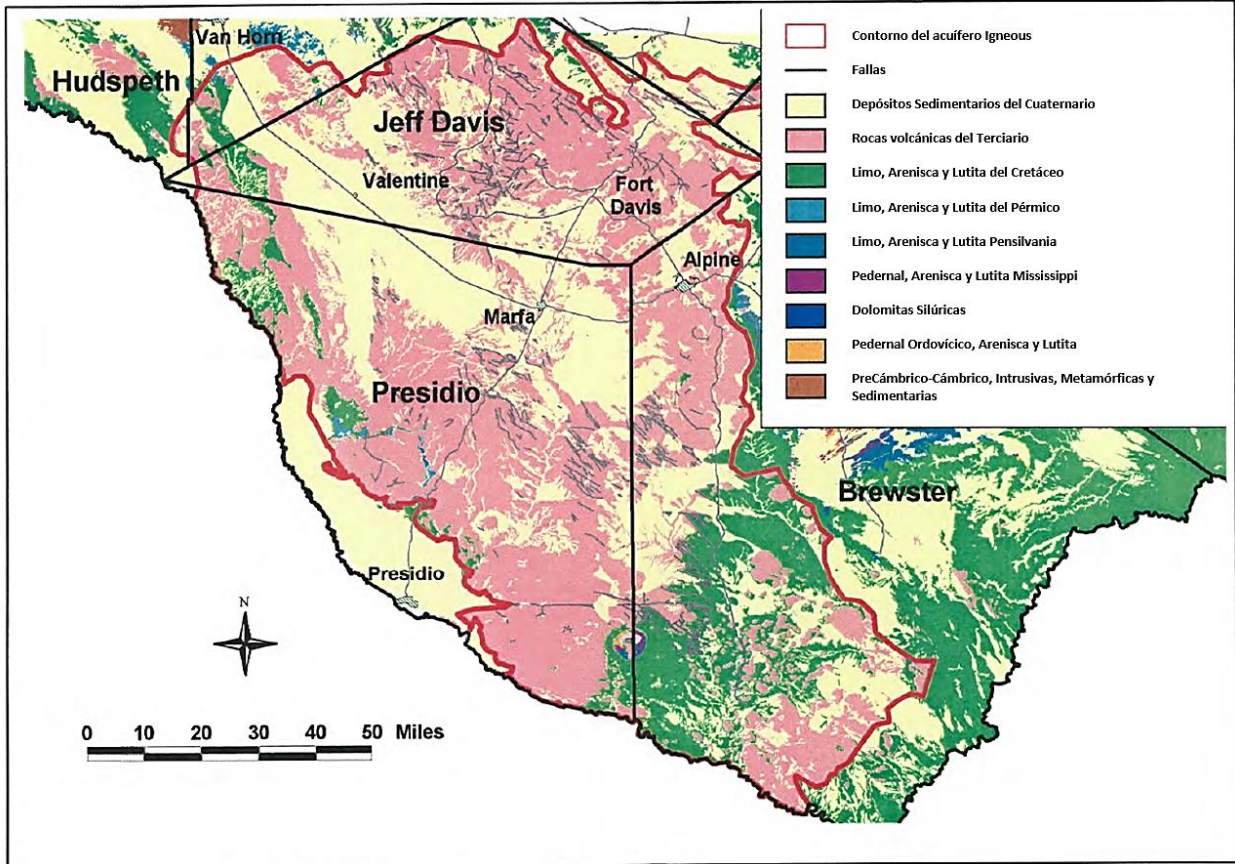


Figura 1.54.7. Geología Regional del área del acuífero Igneous (TWDB, 2001)

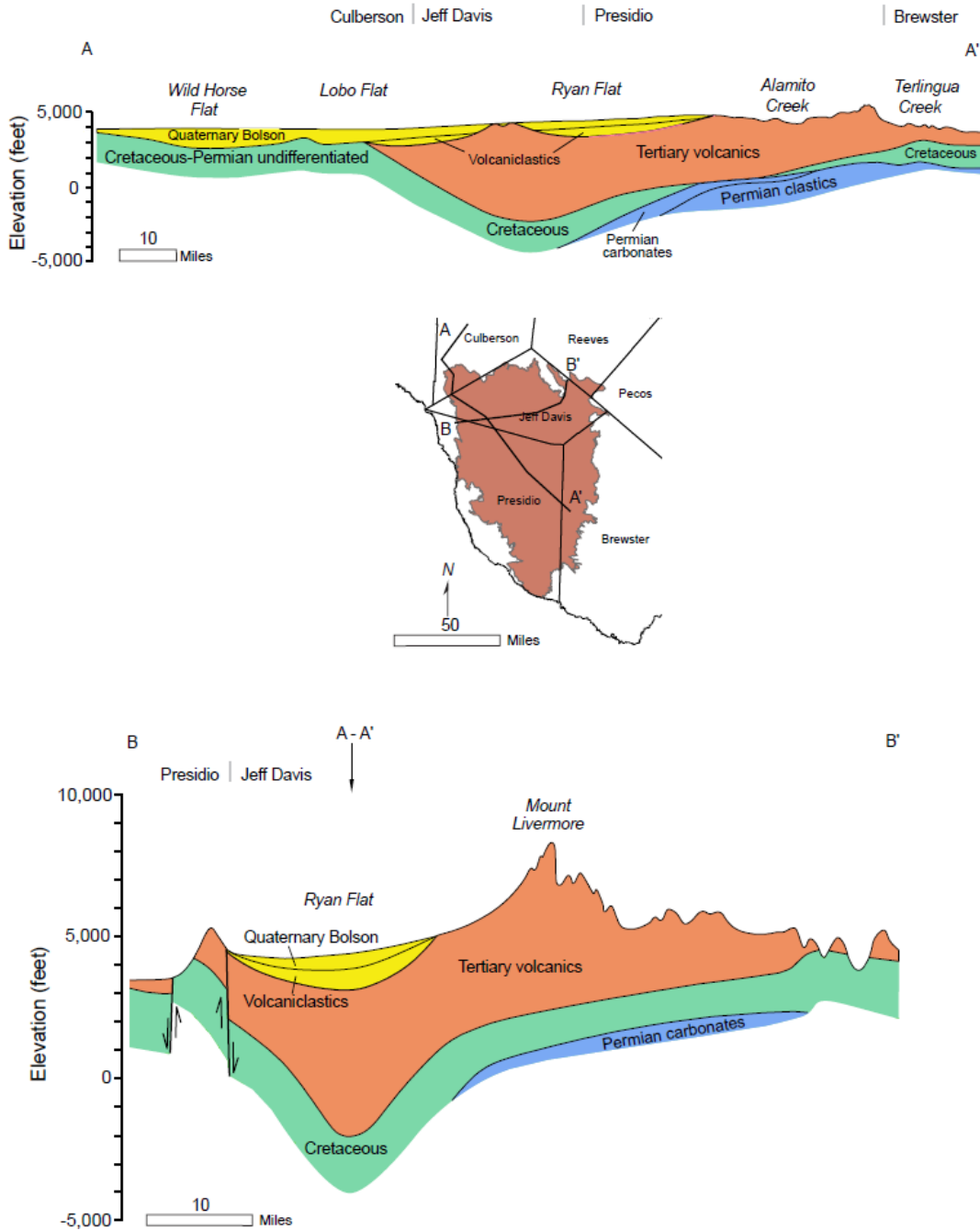


Figura 1.54.8. Secciones geológicas del acuífero Igneous (TWDB, 2011)

CALIDAD DEL AGUA

La calidad del agua es buena para uso municipal y doméstico. De igual forma, se han encontrado niveles elevados de sílice y fluoruro en agua de algunos pozos, debido al origen ígneo de la roca que compone al acuífero (TWDB, 2011).

Cabe mencionar que a pesar de ser unos de los acuíferos más importantes para estas zonas, no se cuenta con suficiente información que permita tener un panorama más amplio de la situación del acuífero.

EDWARDS - TRINITY

INFORMACIÓN GENERAL

El acuífero *Edwards-Trinity*, es uno de los acuíferos principales (*Major aquifer*) que se extiende de la parte suroeste del estado de Texas, Estados Unidos, su formación abarca aproximadamente 83,641 Km² y en el subsuelo 7,738 Km² (Figura 2.4.1).

En el acuífero, el Grupo Edwards se compone de manera predominantemente por rocas de tipo caliza y dolomita, mientras que las arenas se presentan en el Grupo *Trinity*.

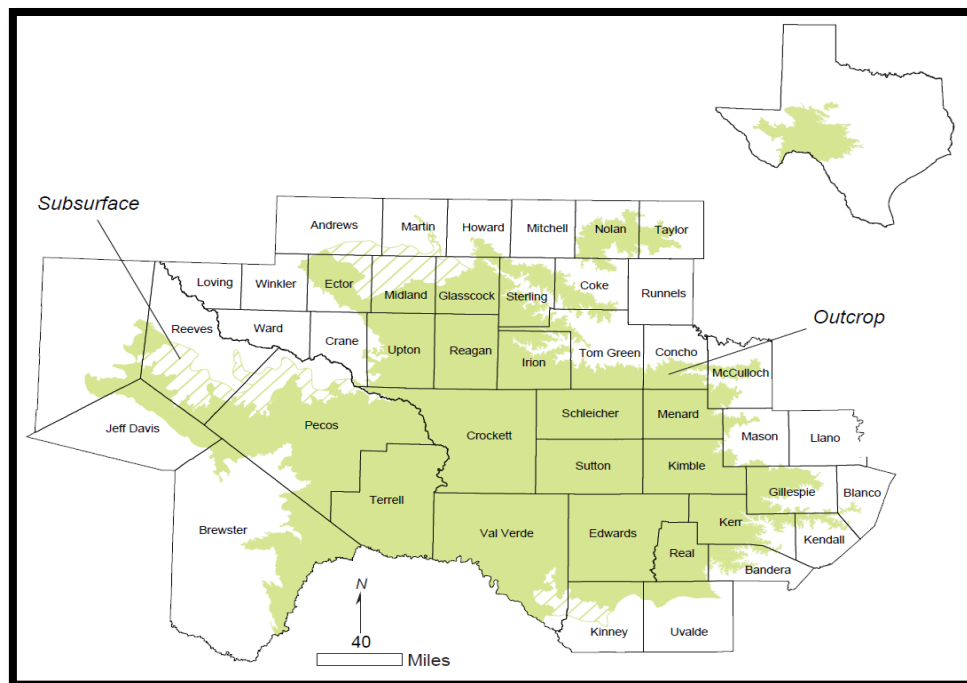


Figura 1.54.9. Localización del acuífero Edwards - Trinity

El espesor máximo saturado del acuífero es mayor a los 243.84 m (800 ft), mientras que el espesor saturado de agua dulce tiene un ancho promedio de 132 m (433 ft). La calidad del agua varía desde dulce a ligeramente salina, los SST oscilan entre 100 y 3,000 mg/L. El agua sufre normalmente un aumento de salinidad hacia el oeste del Grupo Trinity. En las regiones de *Glasscock* e *Irion* se presentan niveles elevados de fluoruro que sobrepasan las normas de calidad de agua potable.

Los manantiales se presentan a lo largo del norte, del este, y márgenes meridionales del acuífero, principalmente cerca de las bases del Grupo Edwards y Trinity expuestos en la superficie. El manantial San Felipe es el más grande expuesto a lo largo del margen meridional. De las aguas subterráneas extraídas de este acuífero, más de dos tercios son utilizados para riego, y el resto se utiliza para los servicios municipales y ganadería.

La recarga en el acuífero se ha mantenido a un ritmo constante debido a las bajas cantidades de extracción a lo largo del acuífero por lo que los niveles de agua se han presentado estables (TWDB, 2011).

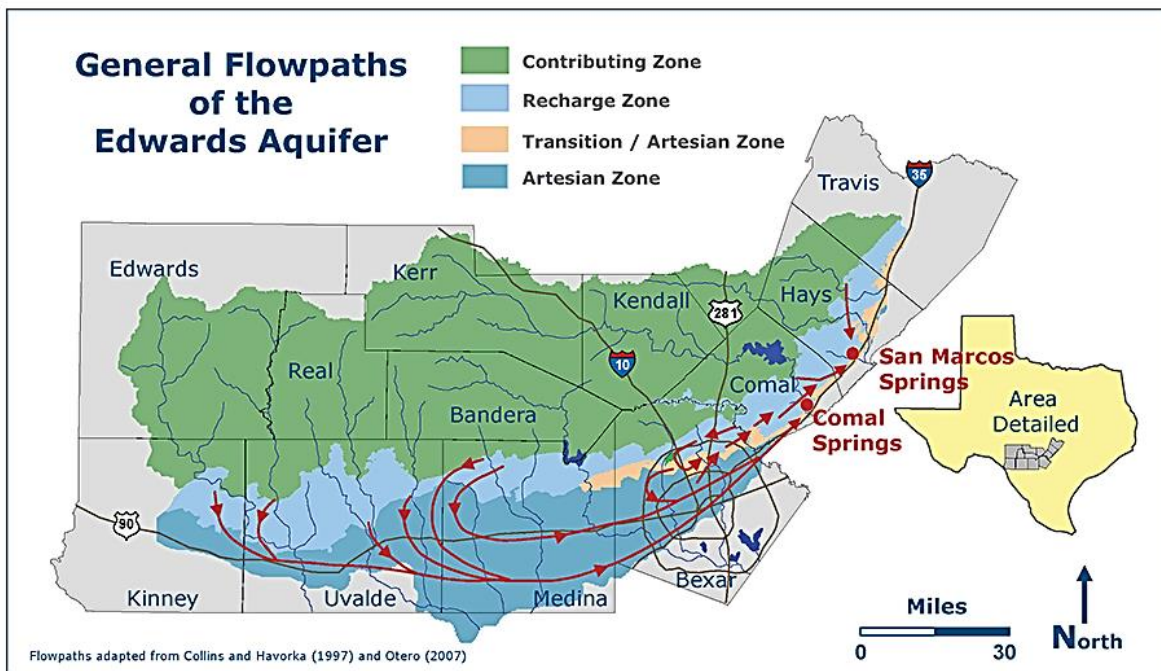


Figura 1.54.10. Flujos generales del acuífero Edwards

El área del acuífero Edwards – Trinity en el oeste – centro de Texas está dividido en 4 áreas geográficas: *Trans – Pecos*, *Meseta Edwards*, *Hill Country* y la zona de falla Balcones (fig. 2.4.3). Estas áreas geográficas se definieron de tal manera que los acuíferos mayores dentro del sistema del acuífero Edwards – Trinity coincidieran con su respectiva fisiografía.

La sub-área que colinda con la frontera EUA- México corresponde la de *Trans-Pecos* cubriendo un área de 25,252 km², se caracteriza por presentar compuestos aluviales en el valle del Río Pecos en el norte y este y por *mesetas* y mesas en el sur.

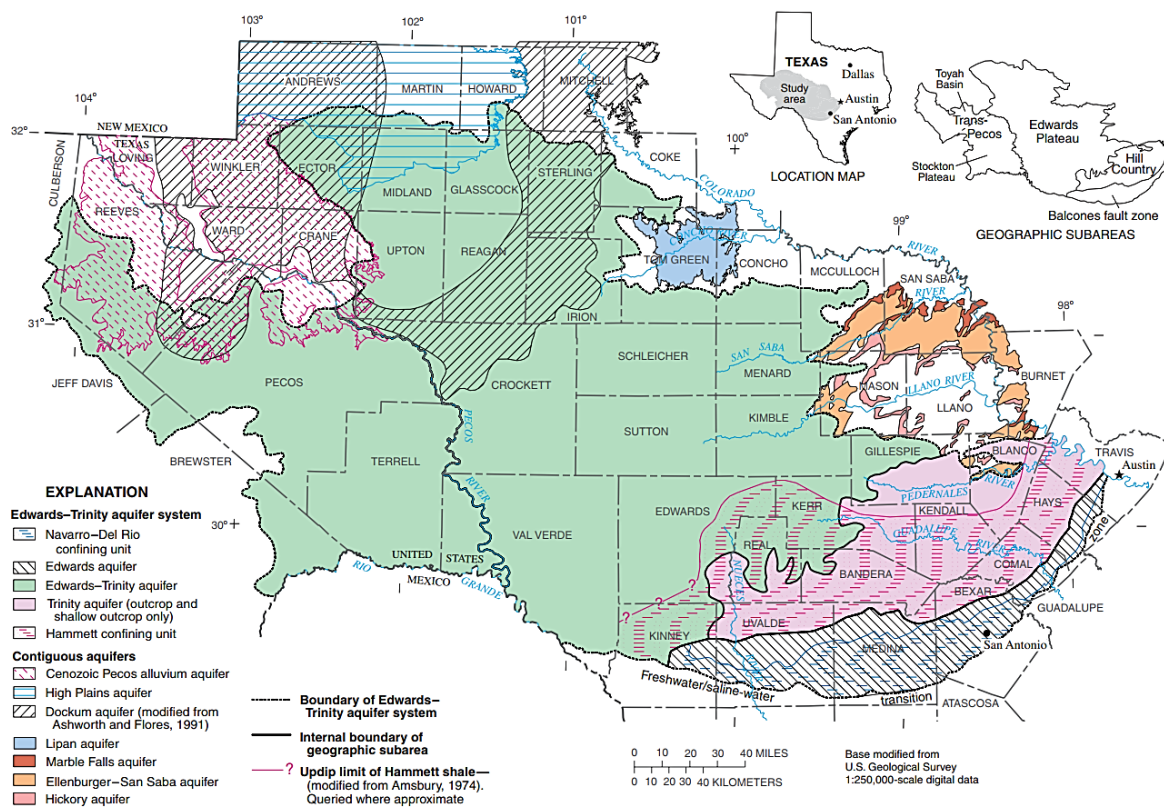


Figura 1.54.11.

HIDROGEOLOGÍA

Durante la era del Jurásico y parte temprana del Cretáceo, las rocas en el área fueron expuestas debido a la erosión, y una gran llanura ondulada fue formada. Esta superficie erosionada la cual subyace en el acuífero Edwards – Trinity se fue desarrollando sobre las rocas de la cordillera desde la era Cámbrica al Triásico. Las rocas que componen el acuífero Edwards – Trinity son generalmente limo en la parte superior, y arena y arenisca en las partes inferiores. Los rangos de espesor del acuífero varían desde unos pocos metros hasta más de 300 m.

La estructura geológica primaria del acuífero Edwards – Trinity está formada por fallas normales ordenadas en dirección hacia abajo-sureste con un patrón de tipo escalonado (figura 2.4.4)

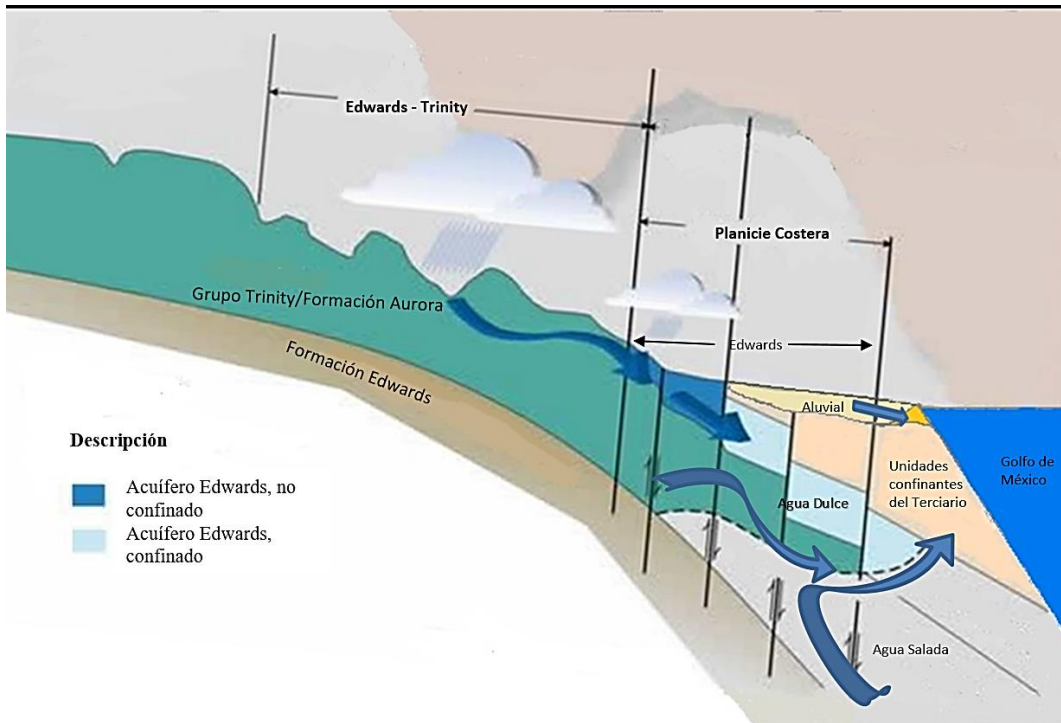


Figura 1.54.12. Sección estructural del acuífero Edwards y Trinity (área de cuenca)

Stratigraphic Column

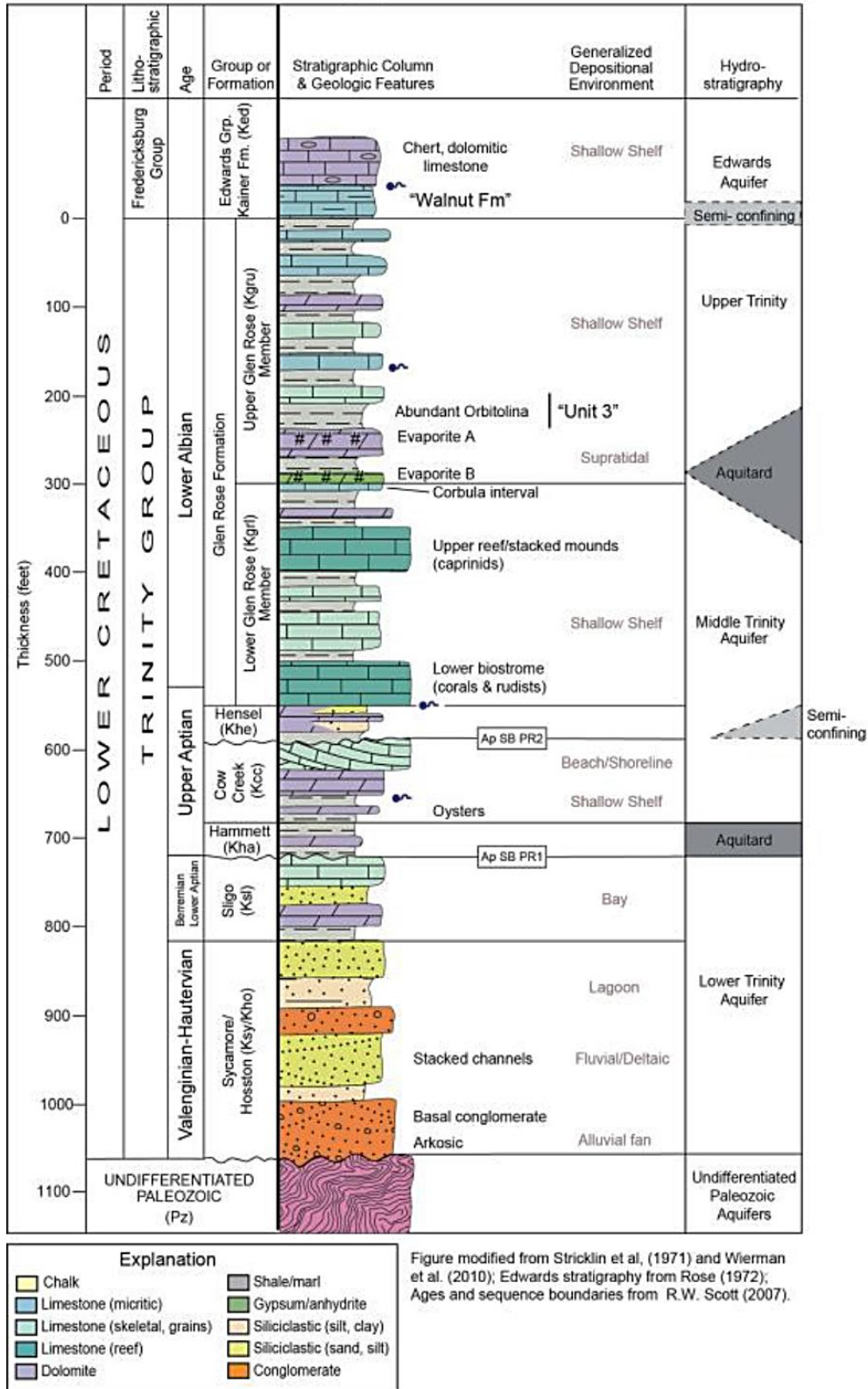


Figure modified from Stricklin et al, (1971) and Wierman et al. (2010); Edwards stratigraphy from Rose (1972); Ages and sequence boundaries from R.W. Scott (2007).

CARRIZO-WILCOX

INFORMACIÓN GENERAL

El acuífero Carrizo-Wilcox es un acuífero principal que se extiende desde la frontera de Louisiana hasta la frontera de México en una banda ancha adyacente desde el noroeste del acuífero de la Costa del Golfo. Su afloramiento abarca aproximadamente 28,971.6 Km² y en el subsuelo presenta un extensión de 65,809 Km² (TWDB, 2011).

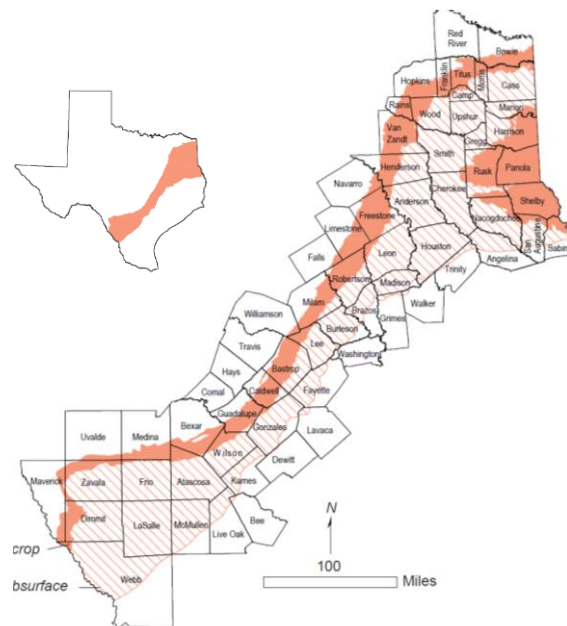


Figura 1.54.13. Localización del acuífero Carrizo-Wilcox

Está compuesto por el Grupo Wilcox y la formación Carrizo del Grupo Claiborne. El acuífero se compone principalmente de arenas con grava, limo, arcilla y lignita. Aunque el acuífero Carrizo-Wilcox alcanza 900 m de espesor, su espesor saturado de agua dulce promedia 204 m. El agua subterránea, presenta cierta dureza, generalmente es dulce y típicamente contiene menos de 500 mg/L de SDT en el afloramiento.

Los sedimentos que componen la parte sur del acuífero que corresponde con la frontera en México y EUA forman parte del engrosamiento en dirección del Golfo en los sedimentos del Cenozoico del lado Este.

Los sedimentos principales en la región sur del acuífero consisten en sedimentos del tipo fluvial-deltaico en la parte superior del Paleoceno y en la parte más baja del Eoceno del Grupo Wilcox y Carrizo (Figura 2.5.2)

Terciario	Series		Norte de Texas	Centro de Texas	Sur de Texas	
	Eoceno	U	Grupo Jackson			
M			Grupo Claiborn	Formación Yegua		
		Formación Cook Mtn			Formación Laredo	
		Arenas Sparta				
		Formación Weches			El Pico Arcillas	
		Arenas Queen City				
		Formación Reklaw			Formación Bigford	
		Arenas Carrizo				
L		Grupo Wilcox	Wilcox Superior	Formación Calvert Bluff	Wilcox Superior	
			Wilcox Intermedio	Formación Simsboro	Wilcox Intermedio	
Paleoceno	U	Grupo Wilcox	Wilcox Inferior	Formación Hooper	Wilcox Inferior	
	L		Formación Midway			

Figura 1.54.14. Sección estratigráfica del acuífero Carrizo - Wilcox

PARÁMETROS HIDRÁULICOS

Los valores de la conductividad hidráulica (K) son muy variables en este acuífero. En el Grupo Wilcox, las áreas que cuentan con depósitos de arena presenta valores entre 6 y 18 m/día, en áreas con arena y barro cuenta con valores promedio entre 0.91 y 2.13 m/día. La formación Carrizo tiene valores de K similares a los valores de las arenas del Grupo Wilcox. De manera general el promedio del acuífero se encuentra alrededor de 1.82 m/día, y los valores oscilan entre 3.04×10^{-3} a 1,219.2 m/día. El promedio de la transmisividad es de aproximadamente 91.44 m/día pero puede presentar alrededor de 3.04×10^{-2} hasta 3,048 m/día.

Los valores de almacenamiento en el acuífero oscilan entre 10^{-6} a 10^{-1} con un promedio de 3.0×10^{-4} . Los valores de almacenamiento específico se encuentran en el rango de 10^{-7} a 10^{-3} y un promedio de 4.5×10^{-6} . Los valores más bajos se presentan en las partes someras del acuífero el cual es de tipo no confinado.

Las normas de calidad del agua en el acuífero son sobrepasadas con alto contenido de Fe y Mg en las partes más profundas del acuífero. Las partes del acuífero en el área de agricultura *Winter Garden* pasan de ligeramente a moderadamente salina, con STD que van de 1,000 a 7,000 mg/L. La extracción para riego representa algo más de la mitad del agua extraída y el suministro municipal representa otro 40% (TWDB, 2011).

Los niveles estáticos del agua han disminuido en el área de *Winter Garden* debido al bombeo del riego y en la parte noroeste del acuífero debido al uso municipal. Los grupos de planeación regional del agua en su *Regional Water Plans 2006* recomiendan varias estrategias para la administración y uso del acuífero Carrizo-Wilcox entre ellas la implementación de nuevos pozos, y retirando la extracción de más en algunos de ellos; la desalinización del agua usando agua superficial y agua subterránea conjuntamente, la reasignación de suministros y el transporte de agua a largas distancias.

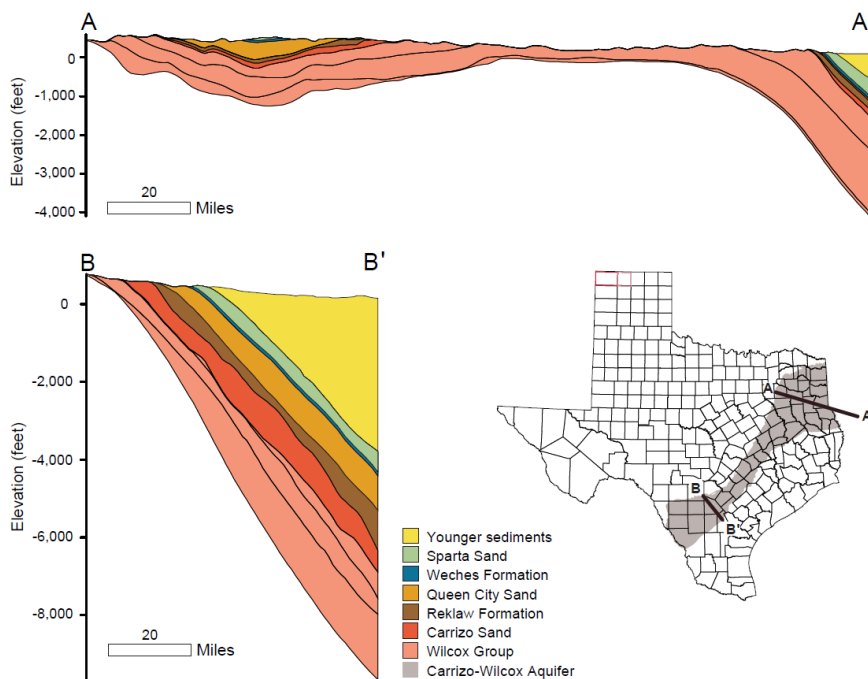


Figura 1.54.15. Secciones geológicas del acuífero Carrizo – Wilcox

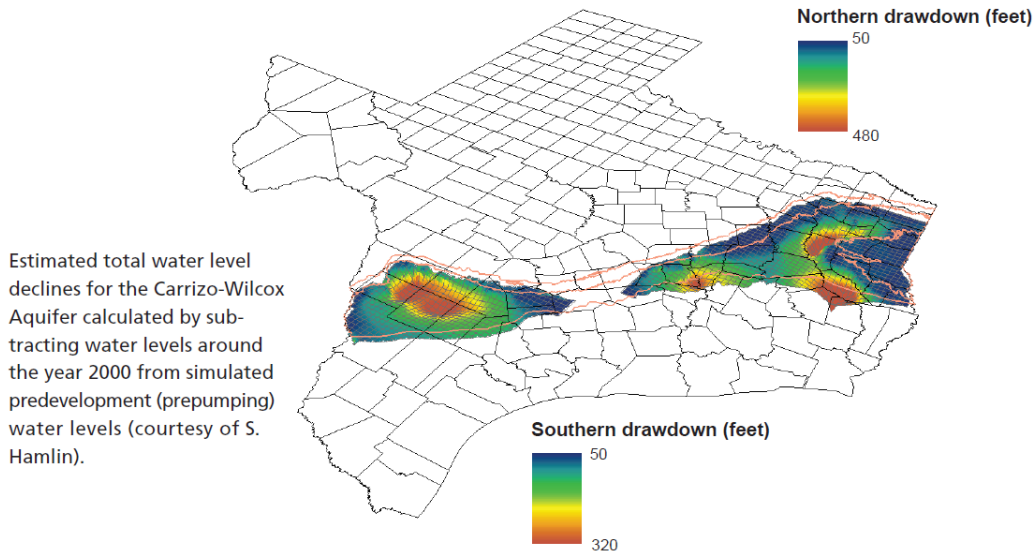


Figura 1.54.16. Niveles de agua (ft) en el acuífero Carrizo-Wilcox

HIDROGEOLOGÍA

Los depósitos de los primeros grupos terciarios Claiborne y Wilcox componen el sistema del acuífero en las tierras altas costeras de Texas. Los sedimentos consisten principalmente en arena, limo y arcilla, los cuales se distribuyen de manera relativamente uniforme, seguido de material de grano fino o grueso.

El sistema acuífero de las tierras altas costeras de Texas se subdivide en cuatro acuíferos y dos unidades de confinamiento. Estos son, desde el más superficial hasta el más profundo, el acuífero superior de Claiborne; la unidad confinada de Claiborne medio; el acuífero medio de Claiborne; La unidad confinada de Claiborne inferior; el acuífero inferior de Claiborne - Wilcox superior; y el acuífero medio de Wilcox.

La frontera terrestre del acuífero se encuentra en el límite de actuación del afloramiento del Grupo Wilcox. La frontera de Gulfward es generalmente la más remota extensión de agua en el sistema acuífero que tiene una concentración de sólidos disueltos de menos de 10,000 mg/L. La parte superior del sistema acuífero es la superficie terrestre o la base de la unidad de confinamiento Vicksburg-Jackson.

La base del sistema acuífero es su contacto con la parte superior de la unidad de confinamiento Midway o la profundidad aproximada a la que el agua en el sistema tiene una concentración de sólidos disueltos que excede 10,000 mg/L.

La altitud de la base se extiende desde menos de 300 msnm hasta casi 2,438 msnm. El espesor de las arenas de agua dulce del sistema acuífero oscila entre 0 y casi 914 metros.

CALIDAD DEL AGUA

El acuífero Carrizo-Wilcox es naturalmente dulce a ligeramente salina en ciertos puntos. Las muestras de agua subterránea tomadas a través del acuífero indican la disolución excesiva de sólidos, altas concentraciones de hierro, fluoruros y cloruros. Varias muestras también indicaron concentraciones de sólidos disueltos con valores menores a 1,000 mg/L (figura 2.5.5) en las áreas principales se registraron valores de sólidos disueltos de <500 mg/L (Ryder, 1996)

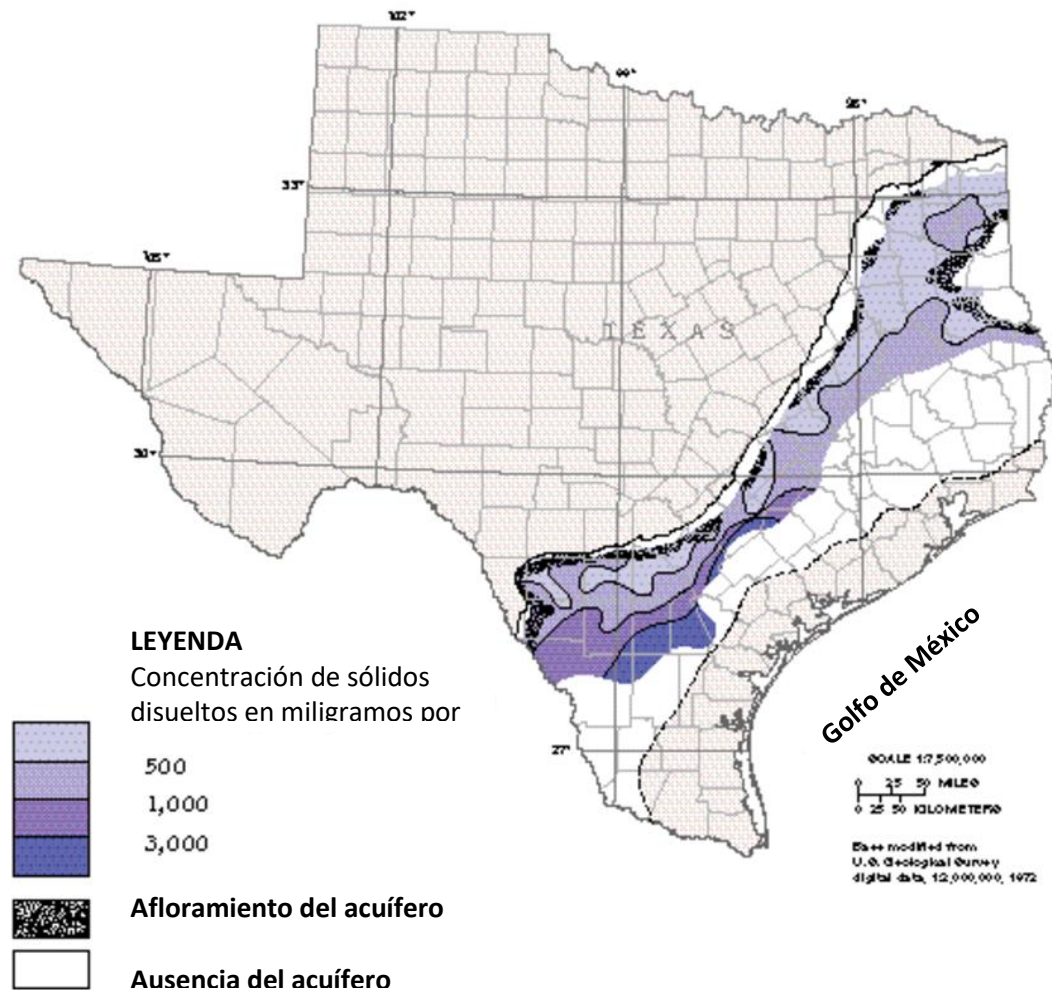


Figura 1.54.17. Calidad del agua del acuífero Carrizo – Wilcox (Ryder, 1996)

YEGUA JACKSON

INFORMACIÓN GENERAL

De acuerdo a Texas Water Development Board (TWDB), el acuífero Yegua-Jackson es considerado un acuífero menor o secundario del estado de Texas, Estados Unidos. Con una extensión de aproximadamente 28,241.23 Km².

El acuífero Yegua-Jackson se extiende en una estrecha banda desde el Río Grande y México a través de Texas hasta el río Sabine y Louisiana.

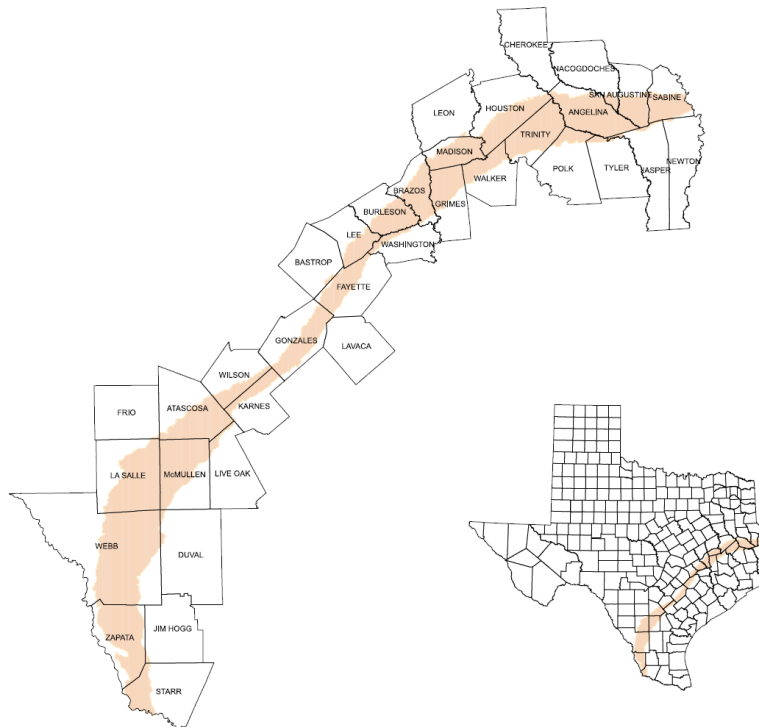


Figura 1.54.18. Localización del acuífero Yegua - Jackson

GEOLOGÍA

En la geología del acuífero Yegua-Jackson (figura 2.6.2) predominan los afloramientos de las formaciones Yegua y Jackson. En Texas, estos grupos se extienden en una banda relativamente delgada aproximadamente paralela a la costa, desde el Condado de Starr en el Valle del Río Grande hasta el Condado de Sabine en el este de Texas, y por lo tanto, se encuentra entre por el río Grande, al sur, y la curva del Embalse Toledo (a lo largo del río Sabine) al este. En la figura 2.6.3 se muestra de manera general la estratigrafía del acuífero Yegua – Jackson. Estas unidades se inclinan hacia la costa moderna y son parte la cuenca del Golfo de México compuestas por arena, limo y arcilla transportada desde las montañas del norte de México y las Montañas Rocosas, así como de otras áreas de Texas y la parte occidental del Norte Interior continental americano.

Estos sedimentos, depositados en ríos y deltas, e incluso más allá de la costa, crean una deformación gradual (hundimiento) de la corteza terrestre a lo largo de los bordes de la

cuenca. Por lo tanto, los sedimentos del intervalo Yegua-Jackson se inclinan más actualmente hacia la superficie terrestre del Golfo.

La deposición de Yegua-Jackson se centró en los embarques de Houston y el Río Grande, donde la contracción de la corteza por las fuerzas tectónicas fue mayor. Al noroeste el Arco de San Marcos representa un arco tectónico de larga duración en el centro de Texas y actúa para separar el Houston y Rio Grande Embayments (TWDN, 2007).

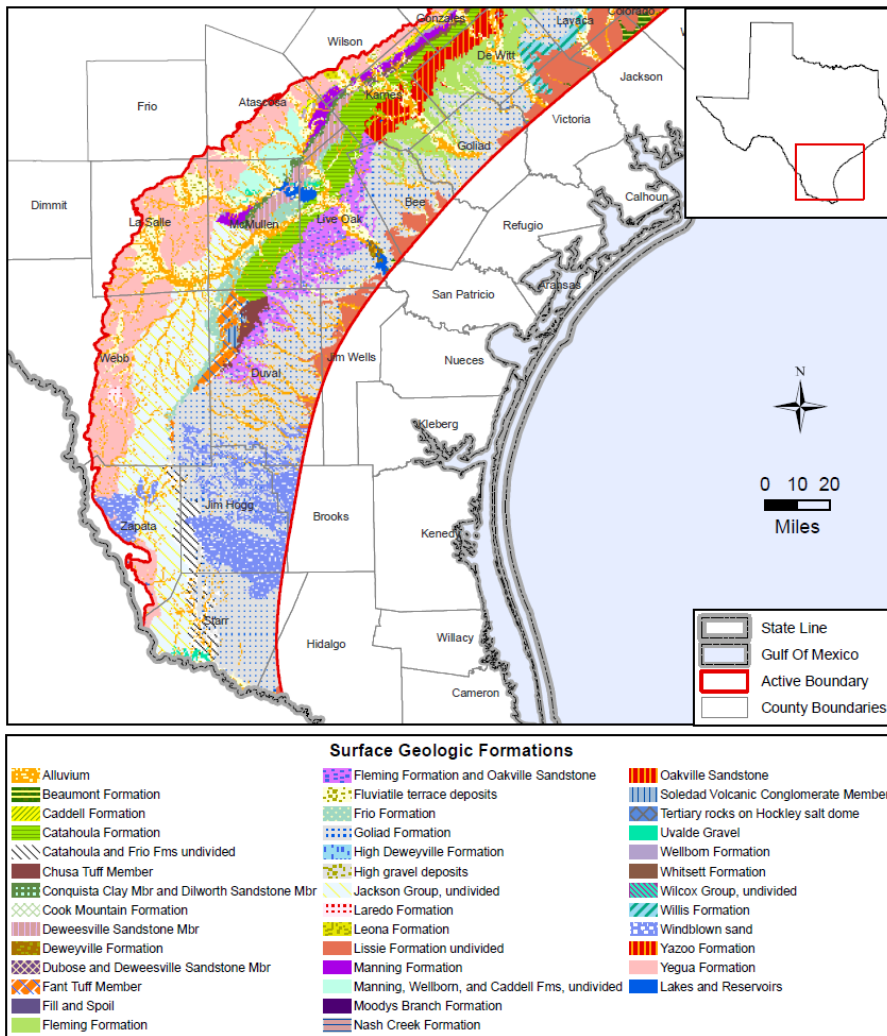


Figura 1.54.19. Geología general del acuífero Yegua-Jackson

Series	Grupo	Formación
	Oligoceno	Catahoula

Terciario	Eoceno-Oligoceno		Jackson	Whitsett
	Eoceno	Superior		Manning
				Wellborn
	Medio	Claiborne Superior	Yegua	
			Cook Mountain	

Figura 1.54.20. Columna estratigráfica generalizada del acuífero Yegua-Jackson (TWDN, 2007)

HIDROGEOLOGÍA

Desde el punto de vista hidrogeológico, ha habido muy pocos estudios realizados en el acuífero Yegua-Jackson, especialmente estudios a escala mayor que a la de un condado individual (Preston, 2006). Sin embargo, Hay más de 1600 pozos terminados en el acuífero, tal como se define en el código del acuífero en el TWDB y en la Bases de datos del Servicio Geológico de los Estados Unidos (Preston, 2006). Se estimó en 1997 una producción mayor de 13.56 hm³ por año (TWDB, 2002). Como parte del Plan de Aguas, la TWDB designó al Yegua-Jackson como un acuífero menor debido al número de pozos y debido al uso relativamente grande del agua subterránea. El Acuífero Yegua-Jackson existe predominantemente en las áreas de afloramiento o casi afloramiento de la Formación Yegua y del grupo Jackson. En Texas, esta área de afloramiento se extiende en una zona relativamente delgada aproximadamente paralela a la costa, desde el Condado de Starr en el Valle del Río Grande hasta el Condado de Sabine en el este de Texas, y por lo tanto se halla entre el río Grande al sur y Toledo Bend Reservoir (a lo largo del río Sabine) al este. El ancho de este afloramiento varía desde menos de 10 millas en el condado de Gonzales hasta cerca de 40 millas en el condado de La Salle, con un área de aproximadamente 28,489.86 Km².

El acuífero se compone de arenas, sedimentos y arcillas intercaladas depositadas en entornos que van desde Fluvial a marino marginal (deltaico y barrera / planicies) hasta estantería marina de poca profundidad (Galloway et. al, 1979). Las arenas fluvial y deltaica típicamente proporcionan cantidades moderadas de agua ligeramente salina en algunas áreas del afloramiento, o ligeramente profunda (Preston, 2006).

CALIDAD DEL AGUA

La calidad del agua varía debido principalmente por la composición de los sedimentos en las formaciones del acuífero, y en todas las áreas el acuífero se vuelve altamente mineralizado conforme aumenta la profundidad. Gran parte de las aguas subterráneas

son producidas desde las unidades con presencia de arenas en el acuífero, donde el agua es dulce y oscila entre menos de 50 a 1,000 mg/L de sólidos totales disueltos, STD.

Algunas otras regiones en el acuífero muestran agua ligera a moderadamente salina, con concentraciones de STD con valores entre 1,000 a 10,000 mg/L. El porcentaje de arenas en el acuífero se muestra en la figura 2.6.4.

No se ha reportado una disminución significativa en los niveles estáticos en el acuífero de acuerdo a Texas Water Development Board.

El agua subterránea está disponible en pozos poco profundos sobre la mayor parte de la extensión del acuífero para uso doméstico y ganadería. El agua del acuífero Yegua-Jackson también es utilizada para uso municipal, industrial y de riego.

Los grupos de planeación regional del agua en su *Regional Water Plans 2006* recomiendan la desalinización del agua y perforación de más pozos de extracción para este acuífero.

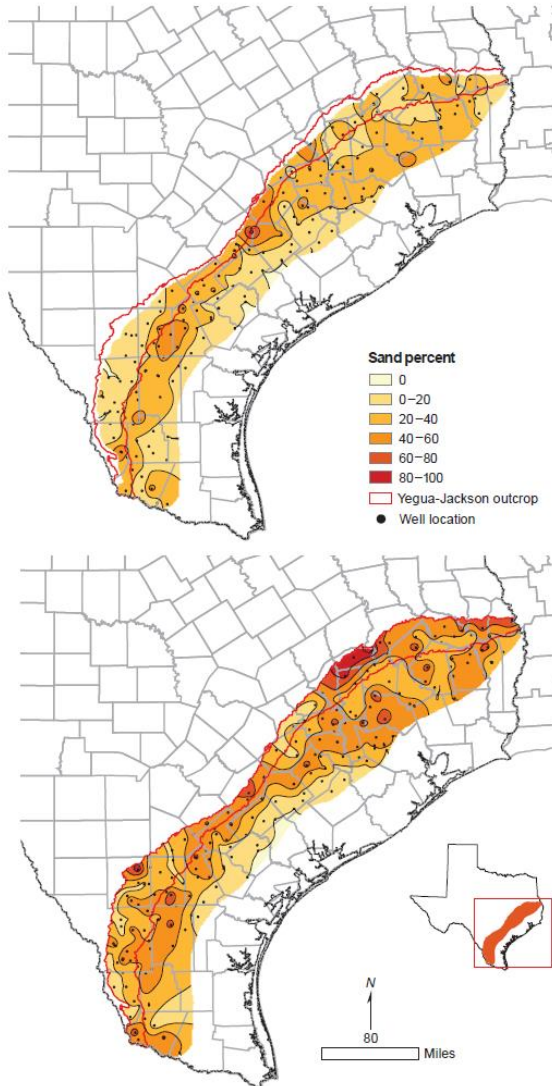


Figura 1.54.21. Porcentaje de salinidad en el acuífero Yegua-Jackson

COSTA DEL GOLFO (GULF COAST)

INFORMACIÓN GENERAL

El acuífero Costa del Golfo se encuentra localizado en el estado de Texas, Estados Unidos paralelo al Golfo de México, desde la frontera de Luisiana hasta la frontera con México. El acuífero tiene una extensión aproximada de 108,466 Km² (Figura 2.7.1). El acuífero es utilizado para fines del municipio, industrial y de riego.

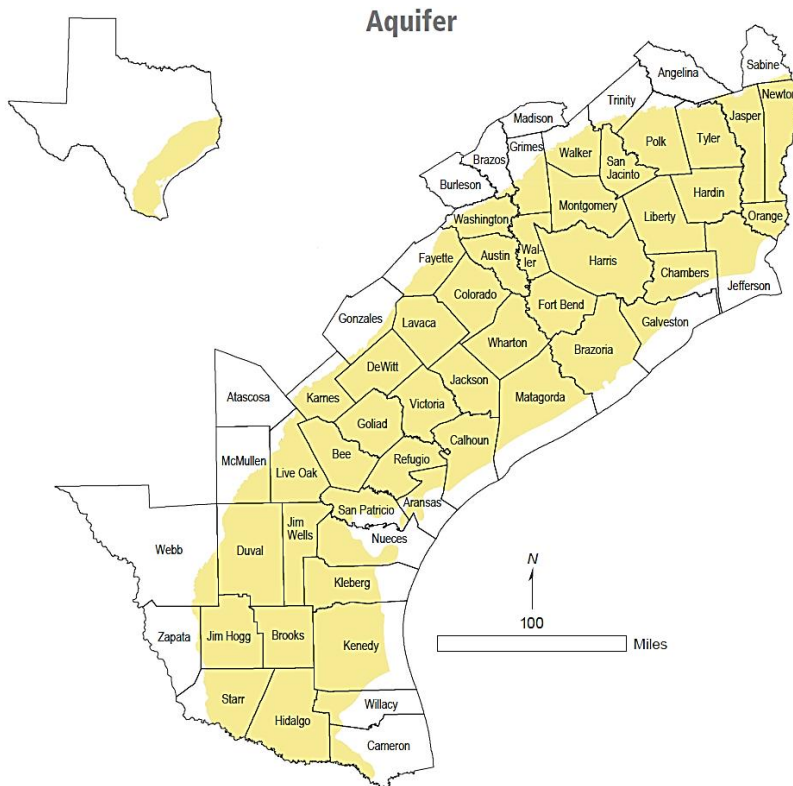


Figura 1.54.22. Localización del acuífero Costa del Golfo (Gulf Coast)

GEOLOGÍA

Los sedimentos en la región del acuífero Costa del Golfo fueron depositados principalmente durante la era Cenozoica. En general, se compone de arenas, limo y arcilla. El marco estratigráfico del acuífero Costa del Golfo es complejo y controversial, con variaciones sobre ciertas unidades en la superficie o en el subsuelo. La considerable heterogeneidad de los sedimentos y una ausencia general de indicadores fósiles hacen complicado el proceso de correlacionar sus unidades geológicas (TWDB, 2007).

Ha sido dividido en 4 unidades, cada una con una correlación diferente con respecto a las formaciones sedimentarias y propiedades hidráulicas. Lo componen varios acuíferos, entre ellos el *Jasper*, *Evangeline* y *Chicot* compuestos de arena, limo, arcilla, y grava.

De acuerdo al informe de TWDB (2007) se agruparon varias unidades estratigráficas en la Costa del Golfo por medio del registro de pozos y fauna desde el Río Sabine en el noroeste hasta el Río Grande en el sur (Figura 2.7.2)

ERA	SERIES	UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS		FUENTES DE AGUA SUBTERRÁNEA	HIDROESTRATIGRAFÍA
				Baker and Dale (1961)	Baker (1979)
Cuaternario	Holoceno	Aluvial		Reserva Bajo Río Grande	Acuífero Chicot
	Pleistoceno	Arcilla Beaumont		*Reserva Mercedes-Sebastian	
		Formación Lissie	Formación Montgomery	*Reserva Linn-Faysville	
			Formación Bentley		
Arenas Willis					
Terciario	Plioceno	Arenas Goliad		*Reserva Linn-Faysville	Acuífero Evangeline
	Mioceno	Formación Fleming/ Arcilla Lagarto			Sistema confinado Burkeville
		Arenisca Oakville		Arenisca Oakville	Acuífero Jasper
		Oligoceno	Toba Catahoula o arenisca		
			2	Parte superior de la toba Catahoula	
	2		Formación Anáhuac		
		2	Formación Frío		
	1	Arcilla Frío	2	Equivalente al Grupo Vicksburg	

Acuífero Costa del Golfo

Figura 1.54.23. Clasificación estratigráfica e hidroestratigráfica del acuífero Costa del Golfo al Sur de Texas (TWDB, 2007)

HIDROLOGÍA

El espesor máximo de arena que comprende al acuífero Gulf Coast es de aproximadamente 213 m en el sur y 396 m en el norte. El espesor saturado de agua dulce tiene un promedio de 304.8 m.

En los condados de *Harris, Galveston, Fort Bend, Jasper* y *Wharton* la disminución del nivel del agua es de aproximadamente 106.68 m, ha generado una depresión en la zona.

Los grupos regionales de planificación del agua, recomendaron varias estrategias para el manejo del agua del acuífero Gulf Coast incluyendo la perforación y bombeo de más pozos, una sobreproyección temporal, construcción de plantas de tratamiento nuevas, así como el desarrollo de proyectos de uso conjuntivos y reasignación de suministros.

La parte más profunda del acuífero es comprendida por el sistema confinado Catahoula el cual incluye las formaciones Frío, Anáhuac y Toba Catahoula. La parte alta está compuesta por las formaciones Fleming y por el sistema confinado Burkeville.

CALIDAD DEL AGUA

La calidad del agua subterránea en el acuífero Costa del Golfo es generalmente buena hacia el norte del río San Antonio pero sufre un declive en dirección suroeste debido al incremento en las concentraciones de cloro y la inserción de agua salina cerca de la costa.

La calidad del agua varía según la profundidad y la localidad: la cual es generalmente buena en las partes centro y noreste del acuífero, donde el agua contiene menos de 500 mg/L de STD, pero esta calidad se ve disminuida al sur, donde normalmente se encuentra entre 1,000 y más de 10,000 mg/L de STD., fueron encontrados en algunos pozos en el condado de Harris en la parte superficial del acuífero y en el sur de Texas altos niveles de radionucleidos, los cuales se cree se encuentran en el acuífero de manera natural.

2. GEOLOGÍA

COSTA DEL GOLFO (GULF COAST)

Las siguientes tablas muestran la geología correspondiente a cada acuífero. Del lado izquierdo se observan las unidades de roca o las formaciones del lado Americano. Por otra parte, del lado derecho se muestra el código y la descripción del tipo de roca en la frontera de México.

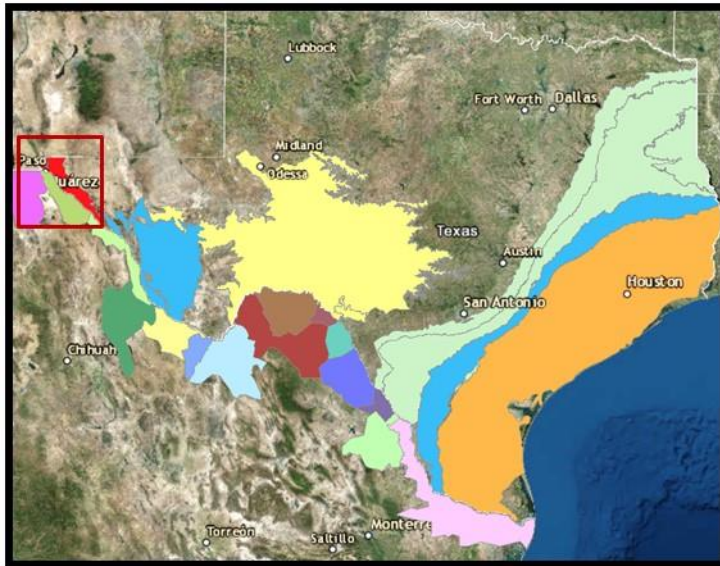


Figura 1.54.24

TABLA 2.

ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA				MÉXICO			
<u>Mesilla Basin – Hueco Bolson</u>				<u>Conejos-Médanos – Valle de Juárez</u>			
Unidad de roca	Cod e	Periodo -Época	Descripción	Unidad de roca	Code	Periodo -Época	Descripción
Grupo Santa Fe	Qt	Cuaternalio			Qholm-ar	Cuaternalio - Holoceno	Limo - Arena
Depósitos del Cuaternario	Qal	Cuaternalio - Holoceno	Aluviales		Qhola	Cuaternalio - Holoceno	Lacustre

Depósitos Bolsón	Qtb	Cuaternalio – Pleistoceno Mioceno	Arcilla, limo, arenisca y conglomerado.	QhoCgp	Cuaternalio - Holoceno	Conglomerado polimíctico
Depósitos del Cuaternario	Qalr	Cuaternalio – Holoceno	Aluviales a lo largo del Río Grande	Qhoeo	Cuaternalio - Holoceno	Eólica
Formación Bluff Mesa	Kbm	Cretácico	Piedra caliza de grano fino.	TplQptB	Terciario - Plioceno	Basalto
Formación Pen		Mesozoico		TplAr-Lm	Terciario - Plioceno	Arenisca - Limolita
Formación San Carlos		Mesozoico	Arenisca	TplAr-Lm	Terciario - Neógeno	Arenisca, Limolita
Formación Boquillas		Mesozoico	Caliza laminada de estratificación delgada, separada por delgadas capas arcillosas	Formación Boquillas	Mesozoico	Caliza laminada de estratificación delgada, separada por delgadas capas arcillosas
Formación Glen Rose/Aurora		Mesozoico	Caliza, caliza arenosa, argilácea	Formación Aurora/Glen Rose	Mesozoico	Caliza, caliza arenosa, argilácea

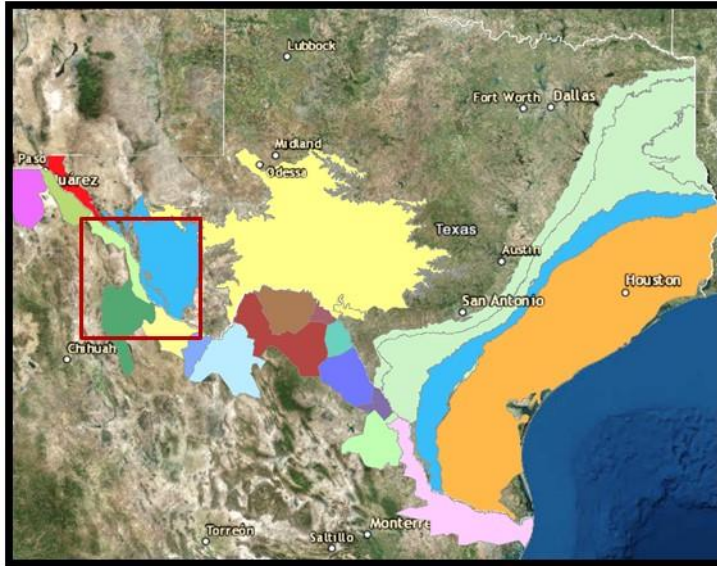


Figura 1.54.25

TABLA 3.

<u>West Texas Bolson – Igneous</u>				<u>Valle del Peso / Bajo Río Conchos / Alamo Chapo</u>			
Unidad de roca	Cod e	Periodo -Época	Descripció n	Unidad de roca	Code	Periodo -Época	Descripció n
Formación Benavides	Kb	Cretácic o	Lutita gris oscuro, calcáreo, intercalado con arenisca, de grano fino, piedra caliza	Formació n Benavide s	Kb	Cretácic o	Lutita gris oscuro, calcáreo, intercalado con arenisca, de grano fino, piedra caliza
Buda Caliza y Arenas Eagle Mountain	Kbe	Cretácic o	Caliza	Formació n Buda del Río/ Buda	Kbe	Cretácic o	Caliza

Formación/B uda del Río Formación				Caliza y Arenas Eagle Mountain Formació n			
Formación Yucca/La Pena	Kyu	Cretácic o	Conglomer ado compuesto de piedra caliza y adoquines, gris claro, calcita de grano fino.	Formació n La Pena/Yu cca	Kyu	Cretácic o	Conglomer ado compuesto de piedra caliza y adoquines, gris claro, calcita de grano fino.
Arenas Cox	Kcx	Cretácic o	Principalme nte arenisca de grano fino a medio, cuarzo.		KceCz- Lu	Cretácic o	Caliza – Lutita
Caliza Finlay	Kf	Cretácic o	Caliza, arenisca		KcetLu- Cz	Cretácic o	Lutita - Caliza
Caliza Espy	Key	Cretácic o	Caliza, Lutita.		TmCgp- Ar	Terciario	Arenisca – Conglomer ado Polimíctico
Arena Windblow	Qws	Cuaterna rio - Holocen o	Arena		Tm(?)C gp-B	Terciario	Conglomer ado polimíctico - Basalto
Depósitos del Cuaternario	Qao	Cuaterna rio - Pleistoce no	Aluvión, arena, caliza		ToR-Tr	Terciario - Paleóge no	Riolita – Toba Riolítica
Arenisca Cox		Mesozoi co	Arenisca, caliza		QptCgp	Cuaterna rio	Conglomer ado polimíctico
Formación Glen Rose/Aurora		Mesozoi co	Caliza	Formació n Aurora/Gl en Rose		Mesozoi co	Caliza

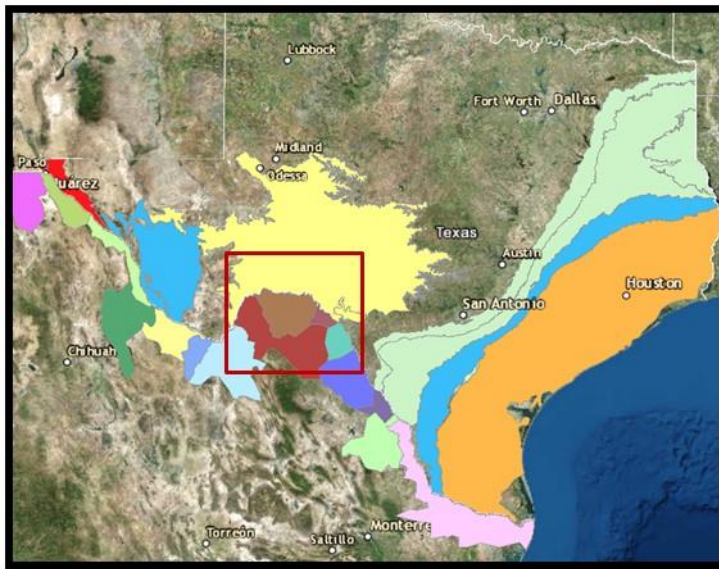


Figura 1.54.26

TABLA 4.

<u>Edwards Trinity</u>				<u>Santa Fe del Pino/Serranía del Burro / Cerro Colorado-La Partida / Presa La Amistad/Palestina/Allende – Piedras Negras</u>			
Unidad de roca	Code	Periodo - Época	Descripción	Unidad de roca	Code	Periodo - Época	Descripción
Depósitos del	Qal	Cuaternalio - Holoceno	Aluvión y depósitos		Qhoal	Cuaternalio	Aluvial

Cuaterna rio			cuaternarios				
Boquillas Formatio n	Kbs e	Cretácico	Arcilla , calizas		Ka(i)Cz -Lu	Cretácico	Caliza - Lutita
Caliza Buda y Arcilla Del Río	Kbd	Cretácico	Caliza, arcilla, arena, silíceo, arenisca		KaCz	Cretácico	Caliza
Caliza Santa Elena	Kse	Cretácico	Caliza, lutita		KaLu-Cz	Cretácico	Lutita - Caliza
Depósitos del Bolsón	Qtg	Cuaterna rio – Pleistoceno, Mioceno	Arcilla, limo, conglomerado.		KcetLu-Cz	Cretácico	Lutita - Caliza
Caliza Austin	Kau	Cretácico	Caliza, arcilla		KcossCz-Lu	Cretácico	Caliza - Lutita
Caliza Salmon Peak	Ksa	Cretácico	Caliza		KceCz	Cretácico	Caliza
Formació n Edwards		Cretácico - Mesozoico	Caliza	Formaci ón Olmos		Cretácico - Mesozoico	Arcilla
Formació n Santa Elena		Cretácico - Mesozoico	caliza	Formaci ón Santa Elena		Cretácico - Mesozoico	caliza
Formació n Eagle Ford		Cretácico - Mesozoico	Lutita, limolita, caliza	Formaci ón Eagle Ford		Cretácico - Mesozoico	Lutita, limolita, caliza
Formació n Midway		Paleoceno	Caliza, arcilla	Formaci ón Midway		Paleoceno	Caliza, arcilla

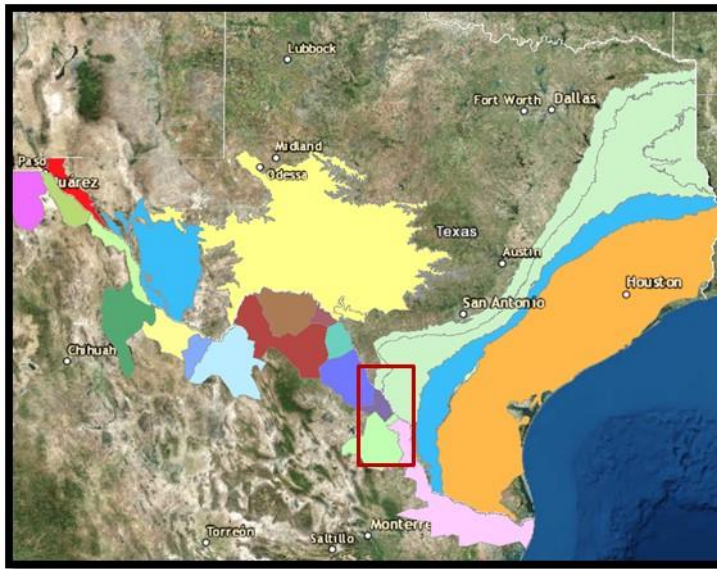


Figura 1.54.27

TABLA 5.

<u>Carrizo</u>				<u>Allende-Piedras Negras/ Hidalgo – Lampazos-Anáhuac / Bajo Río Bravo</u>			
Unidad de roca	Code	Periodo - Época	Descripción	Unidad de roca	Code	Periodo - Época	Descripción
Depósitos fluviales	Qt	Cuaternario - Pleistoceno	Grava, arena, limo y arcilla		Qhoal	Cuaternario - Holoceno	Aluvión
Aluvión	Qal	Cuaternario - Holoceno	Arcilla, limo, arena, grava y materia orgánica, limo y arcilla		TeAr-Lu	Terciario - Paleógeno	Arenisca - Lutita

Arenisca Carrizo	Ec	Terciario - Eoceno	Arenisca y lutita, calcita o sílice	TpaLu-Ar	Terciario - Paleógeno	Lutita - Arenisca
Formación Bigford	Eb	Terciario - Eoceno	Arcilla, arenisca, lignito, arcilla, calcáreo, selenítico.	TeAr	Terciario - Paleógeno	Arenisca
Formación Midway		Cenozoico	Caliza, arcilla	Formación Midway	Cenozoico	Caliza, arcilla
Formación Wilcox/Indio		Cenozoico	Arcilla	Formación Wilcox/Indio	Cenozoico	Arcilla
Formación Palma Real-Guayabal/Laredo		Cenozoico	Arenisca	Formación Palma Real-Guayabal/Laredo	Cenozoico	Arenisca
Formación Edwards		Cretácico - Mesozoico	Caliza	Formación Escondido	Mezozoico	Lutita
Formación Escondido		Mezozoico	Lutita			

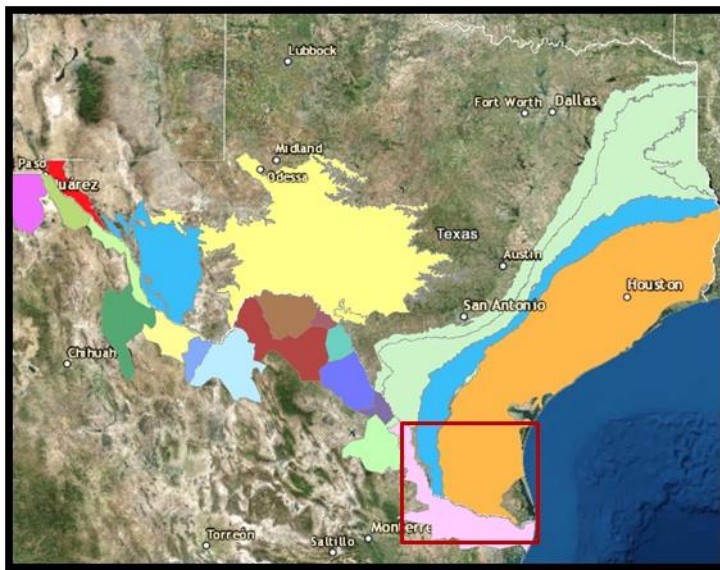


Figura 1.54.28

TABLA 6.

<u>Yegua Jackson/Gulf Coast</u>				<u>Bajo Río Bravo</u>			
Unidad de roca	Cod e	Periodo -Época	Descripción	Unidad de roca	Code	Periodo -Época	Descripción
Aluvión	Qal	Cuaterna rio - Holoceno	Arcilla, limo, arena, grava y materia orgánica, limo y arcilla.		Qhoal	Cuaterna rio	Aluvión
Depósitos fluviales	Qt	Cuaterna rio - Pleistoceno	Grava, arena, limo y arcilla.		TpICgp	Terciario - Neógeno	Conglomerado Polimíctico
Aluvión	Qal	Cuaterna rio - Holoceno	Arcilla, limo, arena, grava y materia orgánica, limo y arcilla.		TeLu-Ar	Terciario - Paleógeno	Lutita - Arenisca
Aluvión	Qas	Cuaterna rio - Holoceno	Limo y arena.		Te(s)Ar-Lu	Terciario - Paleógeno	Arenisca - Lutita
Aluvión	Qam	Cuaterna rio - Holoceno	Arcilla, limo, arena, grava y materia orgánica,		ToAr-Lu	Terciario - Paleógeno	Arenisca - Lutita

			limo y arcilla.				
Formación Beaumont	Qb	Cuaternalio – Holoceno , Pleistoceno	Arcilla, limo y grava	TmAr-Cgp	Terciario – Neógeno	Arenisca – Conglomerado Polimíctico	
Depósitos del Cuaternario	Qds	Cuaternalio - Holoceno	Arena	Tplca	Terciario – Neógeno	Caliche	
Grava Uvalde	T-Qu	Terciario - Plioceno	Arena, limo.	TplCgp	Terciario – Neógeno	Conglomerado Polimíctico	
Grupo Jackson	Ej	Terciario - Eoceno	Arenisca y arcilla, principalmente areniscas de grano fino a grueso, arenosas, calcáreas.	ToLu-Ar	Terciario – Paleógeno	Lutita - Arenisca	
Formación Yegua	Ey	Terciario - Eoceno	Arcilla y arenisca; Principalmente arcilla.	TomAr-Lu	Terciario – Paleógeno	Arenisca - Lutita	
Formación Goliad/Reynosa	Pg	Terciario - Plioceno	Arcilla, arena, arenisca, caliza y conglomerado.	Formación Reynosa/Goliad	Pg Terciario – Plioceno	Arcilla, arena, arenisca, caliza y conglomerado.	

4. MANEJO DE LA INFORMACIÓN A TRAVÉS DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

La gestión y planeación de los recursos hídricos se apoya en diversas herramientas y utiliza diferentes fuentes de información para hacer una evaluación hidrológica de la situación actual, pasada y futura tanto superficial como subterránea, hacer modelado y determinar parámetros y variables y en algunos casos evaluar diversos escenarios sobre el manejo del recurso. Los sistemas de información geográfica (SIG) brindan un soporte básico durante la planeación de los recursos hidráulicos debido a que administran y proporcionan datos para el análisis y modelación hidrológica, así como para la toma de decisiones.

Los dos principales problemas en la modelación de cuencas con respecto a la información son: la disponibilidad de datos confiable en primer lugar y en segundo en que estos posean la estructura o formato de entrada solicitado por el modelo en cuestión. El procesamiento en SIG ataca el segundo problema reduciendo los inconvenientes que se presentan en la información, ocasionados por la variedad de formatos en las que se genera ésta por las fuentes. Esto es, un SIG posee algoritmos y herramientas que permiten la homogenización de la información para que ésta posea una sola estructura, proyección cartográfica, escala, etc., así como la adecuación de la información a las plataformas de modelación que se empleen.

El primer paso en este esfuerzo para mejorar de forma sustancial el manejo del recurso hídrico a lo largo de la frontera norte México – Estados Unidos y en esta primera etapa en la cuenca binacional del Río Bravo consistió en la creación de una base de datos geo-espacial, que incluyó información hidrológica de la cuenca, superficial y subterránea y de calidad del agua, así como información de usos del agua y de contexto, a escalas 1:50,000 y 1:250,000. El desarrollo de una base de datos completa y confiable para las cuencas a lo largo de la frontera México – Estados Unidos es fundamental.

En años anteriores, la Subcoordinación de Planeación trabajó en la generación de bases de datos hidrológicas usando el modelo de datos ArcHydro para cantidad, calidad y aguas subterráneas, para la cuenca del Río Bravo completa (tanto del lado Mexicano como del de E.U.) en la plataforma ArcGIS. Durante el presente proyecto se llevó a cabo una actualización de la información del lado Mexicano de las bases de datos para que estas contengan información lo más actual posible, una validación y en su caso adecuación de la modelación efectuada anteriormente para la cuenca del Río Bravo.

La Figura 4.1 muestra esquemáticamente como se integra información hidrológica-geográfica dentro de un SIG para su análisis y procesamiento. En esta figura, las cuencas y subcuencas pueden a su vez ser los límites de un acuífero, los cuerpos de agua pueden

ser presas o lagos y los puntos de monitoreo pueden ser estaciones de medición de calidad del agua, estaciones hidrométricas, pozos profundos para medir niveles piezométricos, etc.

4.1 SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA UTILIZADO

Para procesar toda la información geográfica se empleó el software ArcGIS en la versión 10.3.1, esto debido a que el IMTA cuenta con licencias de servidor que trabajan de modo concurrente hasta para 7 personas al mismo tiempo y a que sobre esta plataforma SIG trabaja el modelo de datos ArcHydro. Los módulos con los que se cuenta son:

- Desktop Advanced
- Network Analyst
- 3D Analyst
- Spatial Analyst
- Publisher
- Schematics

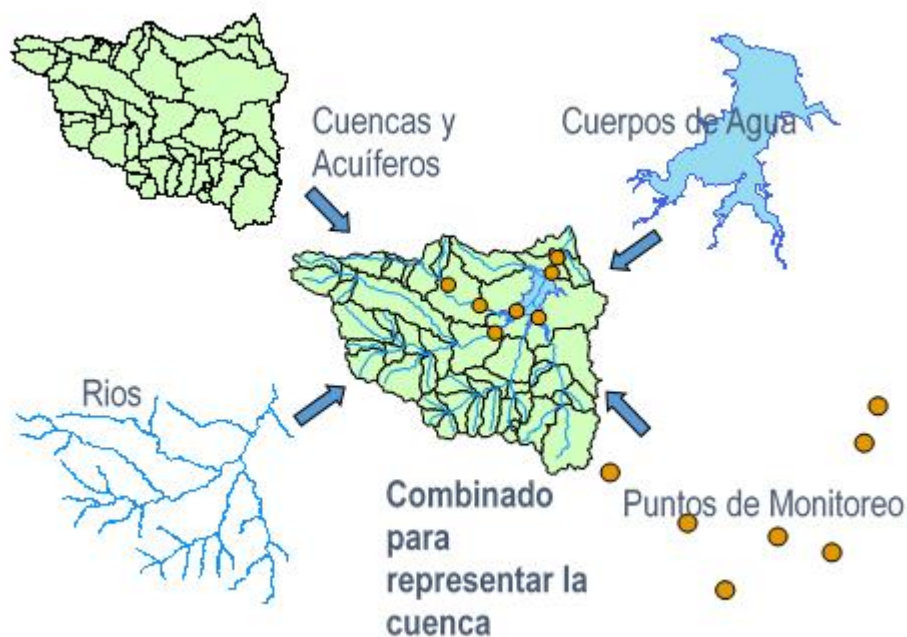


Figura 4.1. Integración de información hidrológica-geográfica dentro de un SIG

Aunque el licenciamiento es por servidor para correr en red, realmente todo el procesamiento se realiza en el equipo de cada uno de los usuarios, de esta forma se recomienda para ejecutar el ArcGIS el contar mínimamente con una estación de trabajo con procesador arriba de 1.83 Ghz de velocidad, memoria de 8 GB y suficiente espacio en disco duro para los procesos que se realicen.

4.2 MODELO DE DATOS ARCHYDRO

El modelo de datos ArcHydro es una herramienta desarrollada por el Centro de Investigación de los Recursos Hidráulicos (CRWR) de la Universidad de Texas en Austin y surgió como respuesta a la necesidad de contar con un mecanismo para integrar datos numéricos (series de tiempo) con datos espaciales sobre los recursos hídricos de una cuenca o región. El modelo ArcHydro es una estructura estándar para almacenar información espacial y numérica dentro de una base de datos espacial (geodatabase). Ofrece las ventajas de contar con la información centralizada y relacionada entre sí utilizando un SIG y un sistema administrador de bases de datos relacionales. Además, al ser una estructura de datos estándar es útil para diversos proyectos y modelos hidrológicos, reduce los inconvenientes que se presentan en la información, ocasionados por la variedad de formatos en las que se genera por diversas fuentes.

Arc Hydro es un conjunto de herramientas y modelos de datos para ayudar en la elaboración de análisis de datos geoespaciales y temporales. Es comúnmente usado para delinear y caracterizar cuencas hidrográficas en formato ráster y de vector, definir y analizar redes hidrogeométricas, administrar datos de series de tiempo y configurar y exportar datos a modelos numéricos.

Arc Hydro es un sistema basado en ArcGIS diseñado para respaldar las aplicaciones de recursos de aguas. Incluye dos componentes clave: Modelo de datos de ArcHydro y Herramientas de ArcHydro.

Estos dos componentes, junto con el marco de programación genérico, proporcionan un diseño de base de datos básico y un conjunto de herramientas que facilitan los análisis más habituales en el ámbito de los recursos hídricos. ArcHydro está ideado para proporcionar las funciones iniciales que, posteriormente, se pueden ampliar mediante la incorporación de las estructuras de bases de datos y las funciones necesarias para una tarea o aplicación específicas.

El modelo de datos ArcHydro consiste de una geodatabase que contiene información en SIG y es parte fundamental de un sistema de información hidrológica. Su estructura contiene los siguientes elementos: Workspace, geodatabase, Feature Dataset, Feature Class, Geometric Network, Relationship y Object Class. Dicha estructura se observa tanto en la Figura 4.2 como en la Figura 4.3.

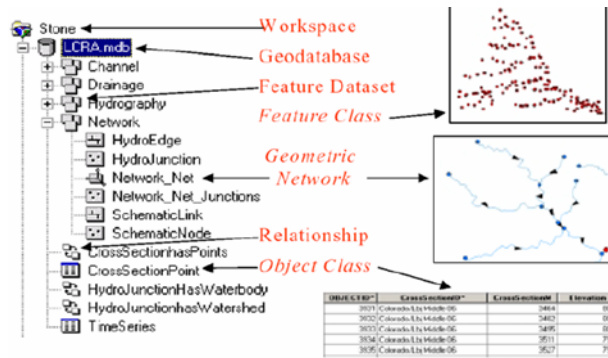


Figura 4.2. Estructura de la geodatabase Archydro

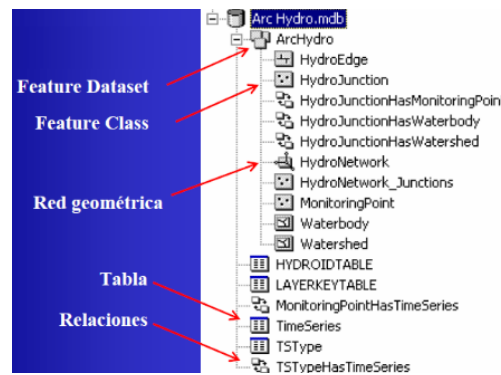


Figura 4.3. Estructura Archydro y componentes de la geodatabase

Este modelo se encuentra diseñado para la compilación de información hidrológica superficial, como ríos, cuerpos de agua, estaciones de monitoreo, etc., o subterránea como pozos de agua, niveles piezométricos, litología, etc. e implementa un esquema que genera relaciones específicas y topológicas entre estos elementos dentro de una base de datos geográfica relacional.

El modelo de datos Archydro existente posee los siguientes dataset's:

- Context information
- Drainage,
- Hydrography,
- Waterbody
- Dam
- Waterwithdrawal
- Monitoringpoints
- Wells
- Hydrogeology
- Network
- Simulation

Y tablas de información y relaciones entre los elementos como son:

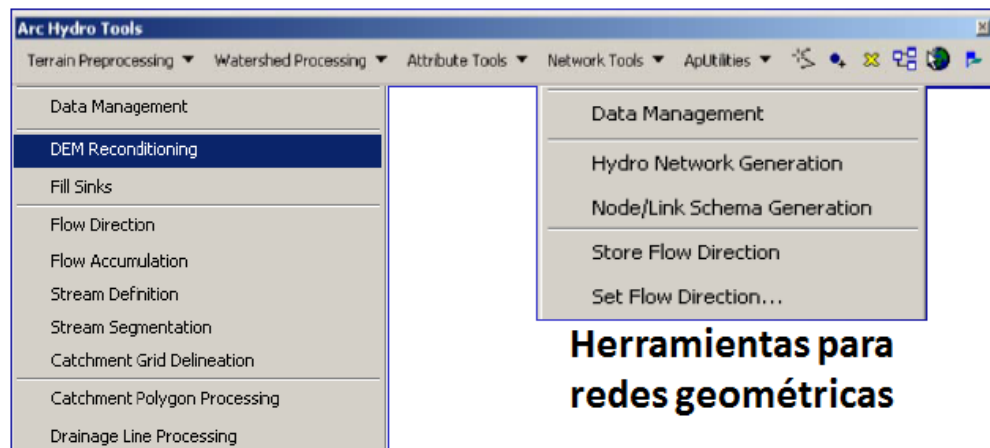
- TimeSeries,
- TSTType,
- TSGroup,

Entre la información contenida actualmente en esta base de datos se tiene:

- Regiones hidrológicas administrativas
- Counties de USA
- Municipios de México
- Estados México
- Estados USA
- Localidades urbanas (México y USA)
- Cuencas/subcuencas (Para USA se tomaron los HUC-2 y HUC-4)
- Acuíferos
- Pozos
- Presas
- Estaciones hidrométricas
- Estaciones climatológicas
- Estaciones de calidad del agua
- Cuerpos de agua
- Puntos de descargas
- Plantas de tratamiento
- Aprovechamientos de agua superficial
- Hidrografía 1:50,000
- Uso de suelo y cobertura vegetal
- Tipo de suelo (Edafología)

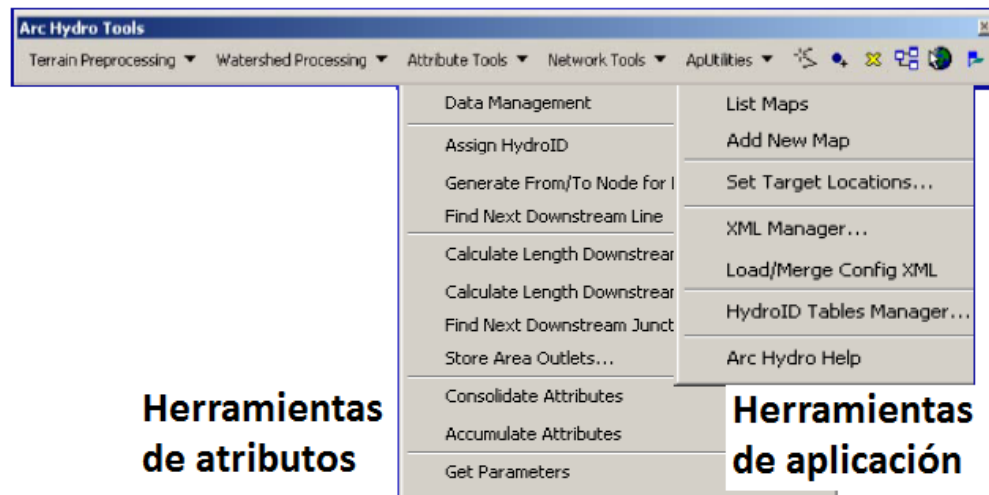
Las herramientas de ArcHydro (Figura 4.4) operan en el entorno de ArcGIS. Para algunas de las funciones se requiere la extensión Spatial Analyst. Para acceder a la mayoría de las herramientas de ArcHydro se utiliza la barra de herramientas, en la que aparecen agrupadas por funciones en seis menús y nueve herramientas. Otras herramientas, desarrolladas en el entorno de geoprocésamiento, están disponibles en la caja de herramientas de ArcHydro y se pueden utilizar en ArcMap y en ArcCatalog.

Las herramientas de ArcHydro tienen dos objetivos fundamentales. El primero consiste en manipular (asignar) atributos clave en el modelo de datos de ArcHydro. Estos atributos constituyen la base para análisis posteriores. Incluyen los identificadores clave (como HydroID, DrainID, NextDownID, etc.) y los atributos de medida (como LengthDown). El segundo objetivo de estas herramientas consiste en proporcionar algunas funciones principales en las aplicaciones de recursos de aguas como, por ejemplo, delineación de cuencas hidrográficas basada en DEM, generación de redes y trazado basado en atributos.



Herramientas para redes geométricas

Preprocesamiento del terreno



Herramientas de atributos

Herramientas de aplicación

Figura 4.4. Herramientas ArcHydro

4.3 INFORMACIÓN GEOGRÁFICA ACTUALIZADA

La cuenca binacional del río Bravo corresponde a la región administrativa número 6 e hidrológica 24 en el lado mexicano y se encuentra distribuida entre los estados de Chihuahua, Coahuila, Durango, Nuevo León y Tamaulipas.

Durante esta actividad del proyecto se llevó a cabo la actualización de la información geográfica, del lado mexicano, de las bases de datos ArcHydro para que estas contuvieran información lo más actual posible, que apoyara la modelación y análisis efectuado para definir las estrategias de seguridad hídrica para el manejo de las aguas transfronterizas en la cuenca del Río Bravo.

La Tabla 4.1 resume la información actualizada en el presente proyecto, la fuente de la que se obtuvo y el año al que se actualizó.

Tabla 4.1. Capas actualizadas y procesadas durante el proyecto

Capa geográfica	Escala	Fuente	Año de actualización
Estados	1:50,000	MGM-INEGI	2010
Municipios	1:50,000	MGM-INEGI	2010
Poblaciones Mayores (ciudades)	1:50,000	MGM-INEGI	2010
Localidades (puntos)	1:50,000	MGM-INEGI	2010
Red hidrográfica (completa)	1:50,000	SIATL-INEGI	2010-2012
Ríos Principales	1:50,000	Procesamiento	2010-2012
Acuíferos	1:50,000	SINA-Conagua	2015
Subcuencas	1:50,000	SINA-Conagua	2016
Presas	1:50,000	SINA-Conagua	2016
Pozos (aprovechamientos Subterráneos)	1:50,000	REPDA-Conagua	2013 y 2016
Aprovechamientos Superficiales	1:50,000	REPDA-Conagua	2013 y 2016
Estaciones hidrométricas (operando)	1:50,000	SINA-Conagua	2016
Estaciones de Calidad del Agua	1:50,000	RNM-Conagua	2016

Plantas de Tratamiento	1:50,000	RNM-Conagua	2016
Distritos de Riego	1:250,000	SINA-Conagua	2016
Zonas Agrícolas	1:250,000	Uso de suelo-INEGI	

Como se observa en la Tabla 4.1, las fuentes de la información actualizada son principalmente la Comisión Nacional del Agua (Conagua) y el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Los sistemas de los que se obtuvo la información fueron:

- Marco Geoestadístico Municipal 2010 (MGM)
- Simulador de Flujos de Agua en su versión 3.2 (SIATL)
- Sistema Nacional de Información del Agua (SINA)
- Registro Público de Derechos del Agua (REPGA)
- Red Nacional de Monitoreo (RNM de la Gerencia de Calidad del Agua-Conagua)

Aunque el año de actualización de la información varía del 2010 al 2016, toda la información se obtuvo durante el 2017, únicamente que la información presentada en los sistemas corresponde al año de actualización establecido en la tabla.

La información de contexto de Estados, Municipios, Poblaciones Mayores y Localidades, se obtuvo la del Marco Geoestadístico Nacional (MGM) 2010 que corresponde a la cartografía empleada para el censo 2010. Esta es la cartografía más precisa que existe actualmente sobre estos temas, pues para la Encuesta Intercensal 2015 por ser esta una encuesta y porque la información a levantar era una encuesta no se generó nueva cartografía. La información de municipios, poblaciones mayores y localidades se recortaron para contener únicamente la correspondiente a la Cuenca del Río Bravo usando la capa de Subcuencas (cuencas).

La cartografía de Acuíferos se obtuvo del SINA y corresponde a la publicación en el Diario Oficial de la Federación de fecha 20 de abril de 2015 de la Actualización de la Disponibilidad Media Anual de Agua Subterránea de los 653 Acuíferos de los Estados Unidos Mexicanos realizada por la Gerencia de Aguas Subterráneas de la Subdirección General Técnica de la Conagua. A partir de la capa nacional y con apoyo de la capa de subcuencas (cuencas) de la Cuenca del Río Bravo se hizo una sobreposición y selección de los acuíferos que correspondían a ésta y se almacenaron en una nueva capa.

La capa de Cuencas y Subcuencas corresponde a la publicación en el Diario Oficial de la Federación de fecha 7 de julio de 2016 de la Actualización de la Disponibilidad Media Anual

de las Aguas Nacionales Superficiales de las 757 Cuencas Hidrológicas que Comprenden las 37 regiones hidrológicas en que se Encuentra Dividido los Estados Unidos Mexicanos realizada por la Gerencia de Aguas Superficiales e Ingeniería de Ríos de la Subdirección General Técnica de la Conagua. La capa se obtuvo del SINA y se recortó con el SIG a contener exclusivamente la información de las subcuencas (cuencas) pertenecientes a la Cuenca del Río Bravo a través de una simple selección y almacenado en una nueva capa.

La red hidrográfica se obtuvo del sistema SIATL del INEGI y corresponde a una actualización de la red hidrográfica edición 2.0 generada por el INEGI a partir de los datos vectoriales escala 1:50,000 pero editada para ser una red conectada totalmente, esto es, una red en la cual la digitalización sigue el flujo del agua, así como el establecimiento de líneas de corriente virtuales que conecten las entradas a un cuerpo de agua con su salida (Figura 4.5)

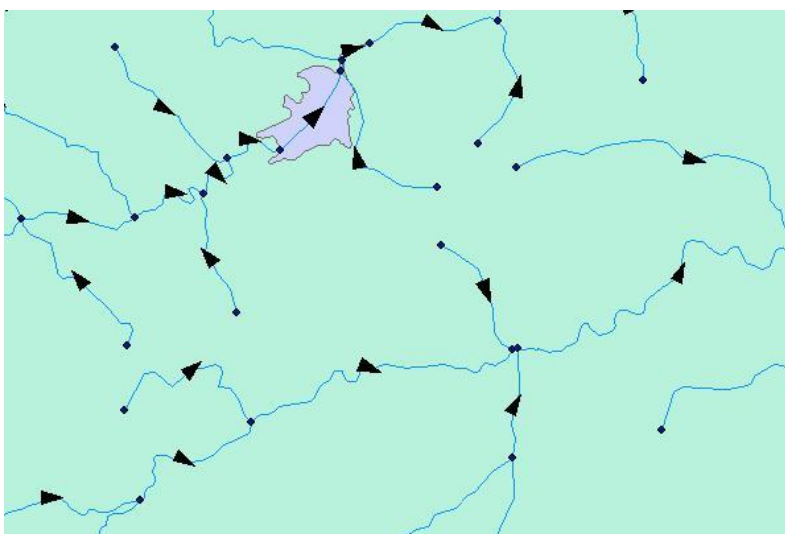


Figura 4.5. Creación de corrientes virtuales en un cuerpo de agua

Se incorporaron canales a la red de drenaje, cuando estos eran canales principales que ya conducían el agua en zonas agrícolas, etc. el detalle de la generación de esta red se puede obtener del “Documento Técnico Descriptivo de la Red Hidrográfica Escala 1:50,000, Edición 2.0” de agosto de 2010 publicado por el INEGI (Figura 4.6).

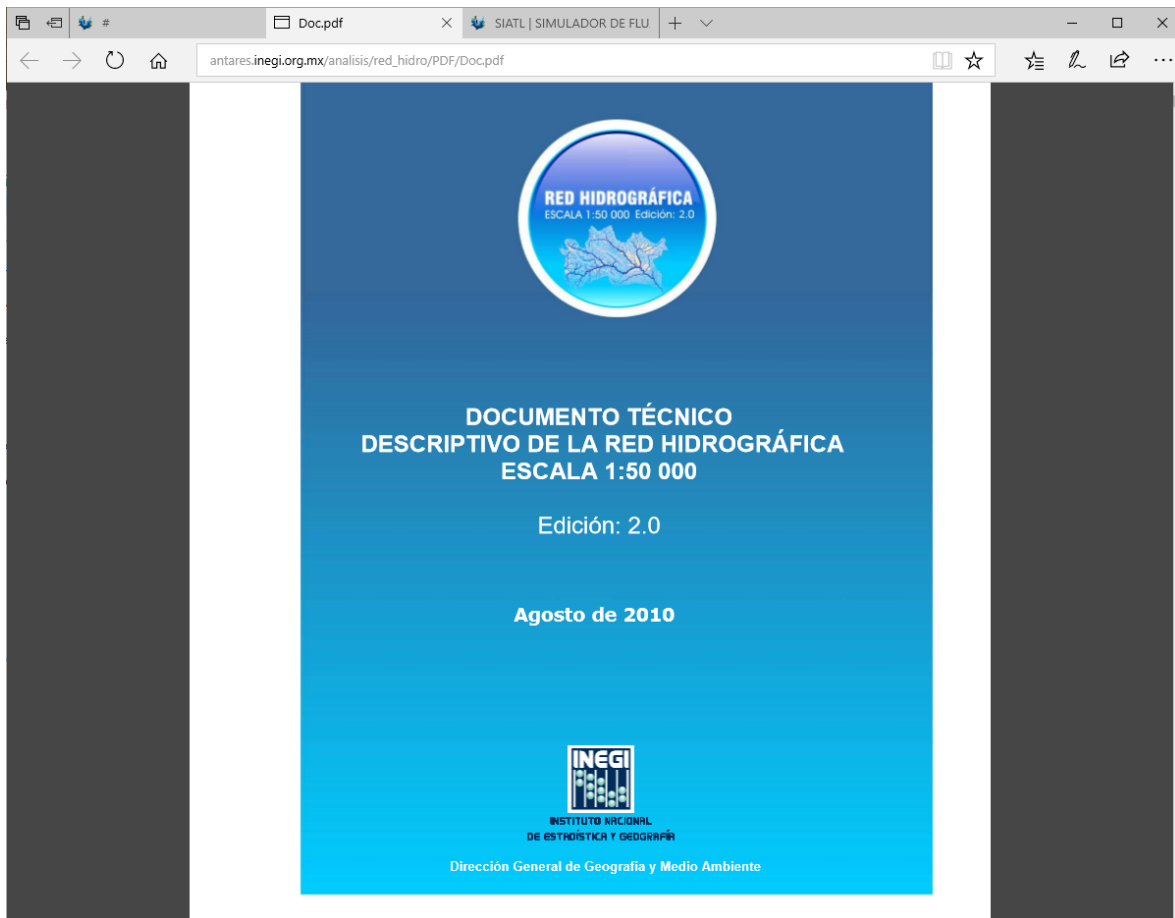


Figura 4.6. Documento técnico descriptivo de la red hidrográfica del SIATL

Lo importante de esta red hidrográfica es que cumple con las características de la hidrografía que debe tener el modelo ArchHydro, sí como es la red oficial del INEGI, la red que contenía el modelo ArchHydro desarrollado anteriormente por el IMTA era un procesamiento propio del instituto.

En el caso del Río Bravo el INEGI colaboró con el USGS de los Estados Unidos para contar con una línea común para ambos países, de esta forma fue necesario realizar la edición de la conexión de la red hidrográfica existente a esta nueva línea común y la segmentación de dicha línea en cada confluencia.

Otra característica de la red hidrográfica obtenida es que ya posee la información de hidromorfometría, el orden de las corrientes, en sus atributos descriptivos. La Figura 4.7 muestra esquemáticamente como se establece el orden de las corrientes en una cuenca.

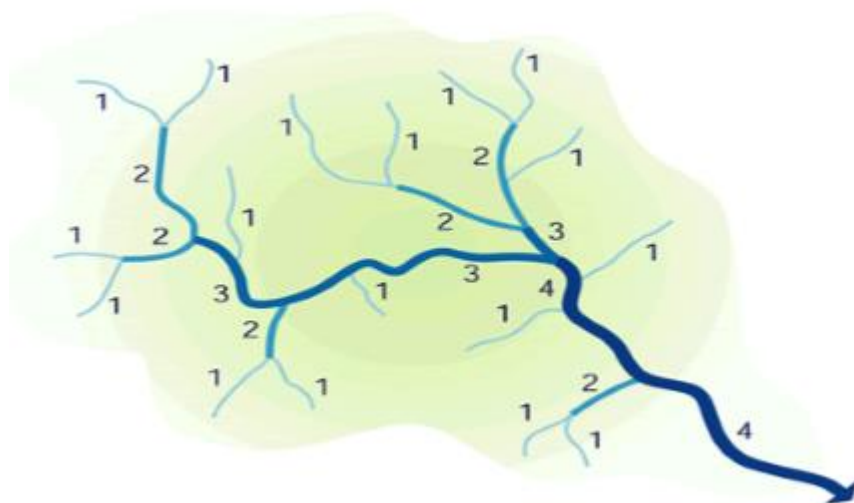


Figura 4.7. Establecimiento del orden de las corrientes en una cuenca

La capa posee dos tipos de orden que son:

La Magnitud de orden, que es una medida de la posición de un arroyo (definido como el segmento entre tributarios sucesivos) dentro de la jerarquización de la red de drenaje. Los arroyos más pequeños permanentes son llamados de primer orden. Dos corrientes de primer orden se unen para formar una más grande, de segundo orden, dos corrientes de segundo orden se unen para formar una de tercer orden, y así sucesivamente. Pequeñas corrientes de entrada a una secuencia de orden mayor no cambian su número de orden (Figura 4.7).

El Nivel de corriente: Proporciona la información necesaria para determinar la ruta principal aguas arriba en cada confluencia, en función de la sumatoria de longitudes

En el caso de la Red hidrográfica de la cuenca del Río Bravo se tienen magnitudes de orden de las corrientes hasta de 7, esto permitió procesar la red hidrográfica a través del sistema SIG para obtener una capa de ríos principales en la cual únicamente se consideraron órdenes de corriente arriba de 4 como corrientes principales.

En el caso de los aprovechamientos superficiales y subterráneos del Registro Público de Derechos del Agua (REPDA) se obtuvieron coberturas para el 2013 y el 2016, aunque el año más reciente se obtuvo muy avanzado el proyecto. La información 2013 se empleó para el análisis de disponibilidad y la 2016 para un análisis de consumos agrícolas más actualizado. Cabe mencionar que es común que los aprovechamientos se encuentren mal ubicados en sus coordenadas espaciales, por lo que toda la información se procesa usando

también campos de atributos como estado, municipio y localidad para lograr su ubicación correcta y no la simple sobreposición espacial con las subcuencas en un SIG.

Las capas de Presas, Estaciones Hidrométricas operando y Distritos de Riego se obtuvieron también del SINA a nivel de cobertura nacional y se recortaron al área de estudio sobreponiendo sobre ellas la capa de Subcuencas de manera que se seleccionaran aquellas correspondientes a la Cuenca del Río Bravo.

Finalmente, las Estaciones de Calidad del Agua y las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales se solicitaron directamente a la Red Nacional de Monitoreo de la Gerencia de Calidad del Agua de la Subdirección General Técnica de la Conagua. Las estaciones y plantas solicitadas fueron todas aquellas ubicadas sobre el cauce del Río Bravo en el caso de las estaciones y en el de las plantas de tratamiento las de las poblaciones fronterizas.

Las Zonas Agrícolas se obtuvieron de la carta vectorial 1:250,000 de uso de suelo y vegetación del INEGI, no se recortaron y se usan únicamente de referencia para determinar los usos en la disponibilidad.

La información se obtuvo en Proyección Cónica Conforme de Lambert en el datum ITRF92 o en WGS804 y alguna de ella fue necesario re proyectarla a coordenadas geográficas en grados pues así lo requerían algunos sistemas en los que se emplea como es el Water Evaluation and Planing system (WEAP). De esta forma para algunas capas se tienen coberturas en Cónica Conforme de Lambert y equivalente en grados.

La Figura 4.8 muestra todas las capas que fueron actualizadas, así como aquellas que poseen doble cobertura una en grados y otra en Cónica Conforme de Lambert.

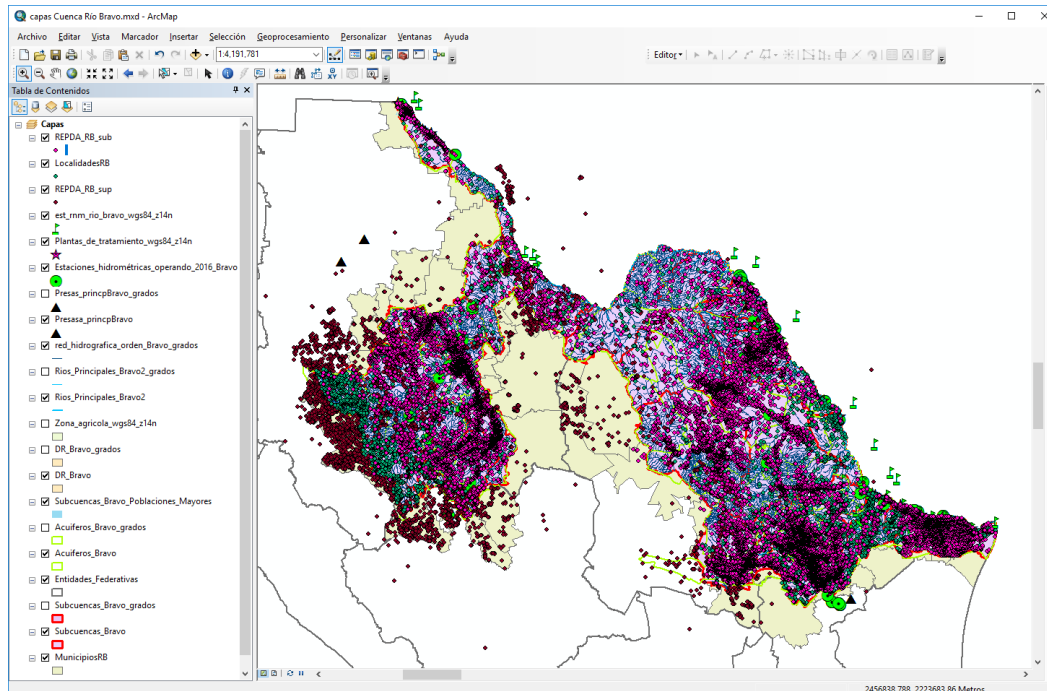


Figura 4.8. Visualización de todas las capas que fueron actualizadas y procesadas durante el proyecto

4.4 ESTRUCTURA DE LA COBERTURAS ACTUALIZADAS

Como toda capa dentro de un sistema de información geográfica una cobertura está integrada por dos elementos básicos, la información espacial establecida por el dibujo y la información de atributos de los elementos del dibujo, de manera que cada elemento del dibujo, lineal, puntual o areal es descrito por sus atributos contenidos en una tabla que es parte de la cobertura.

Cabe mencionar que toda tabla de atributos posee tres campos que sirven para ligar la información del dibujo con los registros de la tabla, estos campos son: FID, Shape y OBJECTID. El campo FID (Feature ID) establece el elemento del dibujo al cual está asociado el registro de la tabla, el campo Shape establece el tipo de elemento del dibujo; esto es si es un punto, una línea o un polígono (área); y el campo OBJECTID es el contador de registro o número de registro de la tabla de atributos.

A continuación, se presentan figuras mostrando el dibujo y la tabla de atributos de cada capa actualizada, así como una tabla que establece el tipo de campo de cada uno de los campos de la tabla de atributos de la capa. Para las coberturas en grados no se muestran pues su información es igual a la de su cobertura en Cónica Conforme de Lambert.

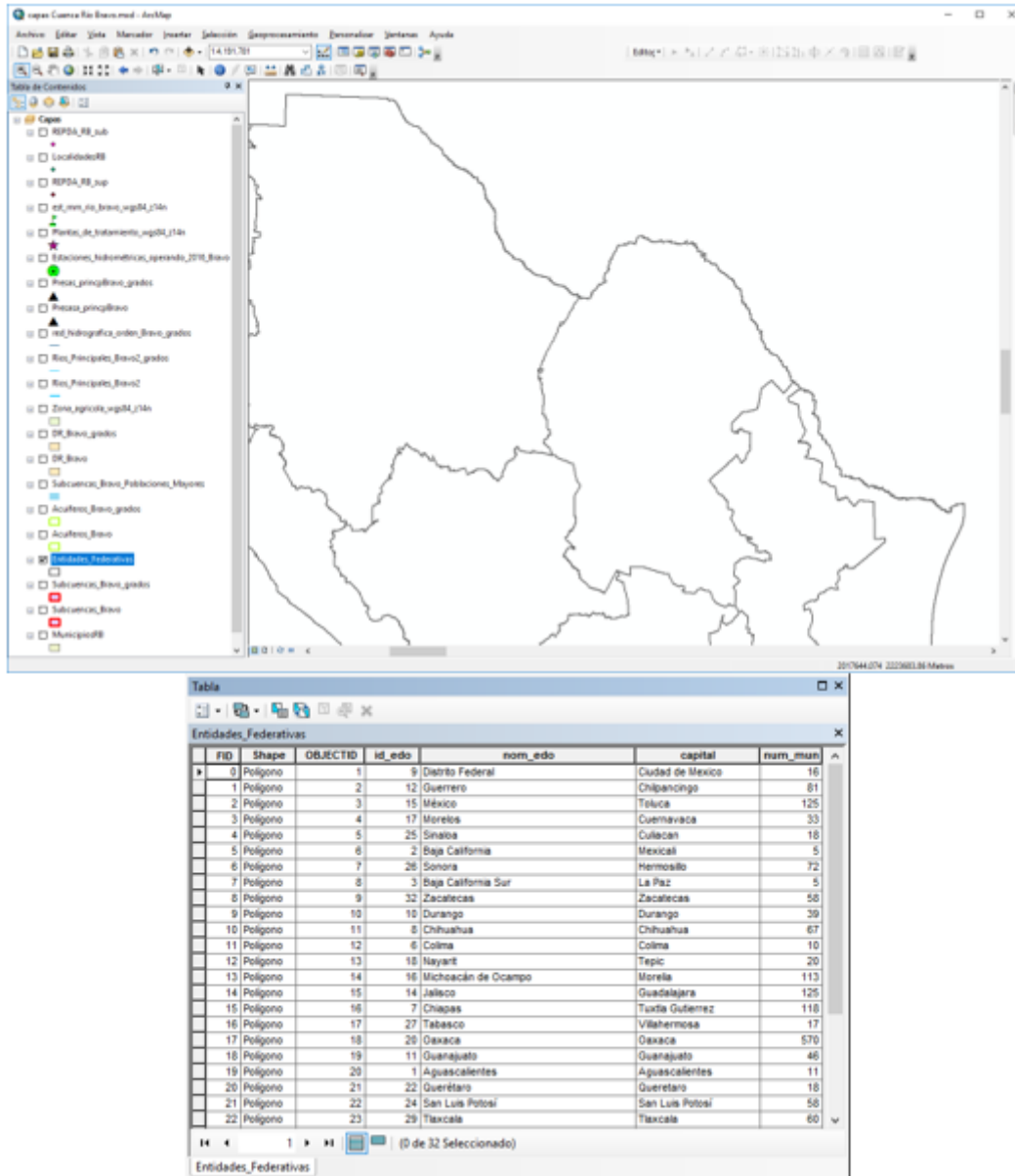


Figura 4.9. Capa de Estados

Tabla 4.2. Campos con su tipo de dato de la tabla de atributos de la capa de Estados

Campo	Tipo de Dato
FID	Entero largo
Shape	Texto
OBJECTID	Entero largo
Id_edo	Entero largo
Nom_edo	Texto </td
capital	Texto
num_mun	Entero largo

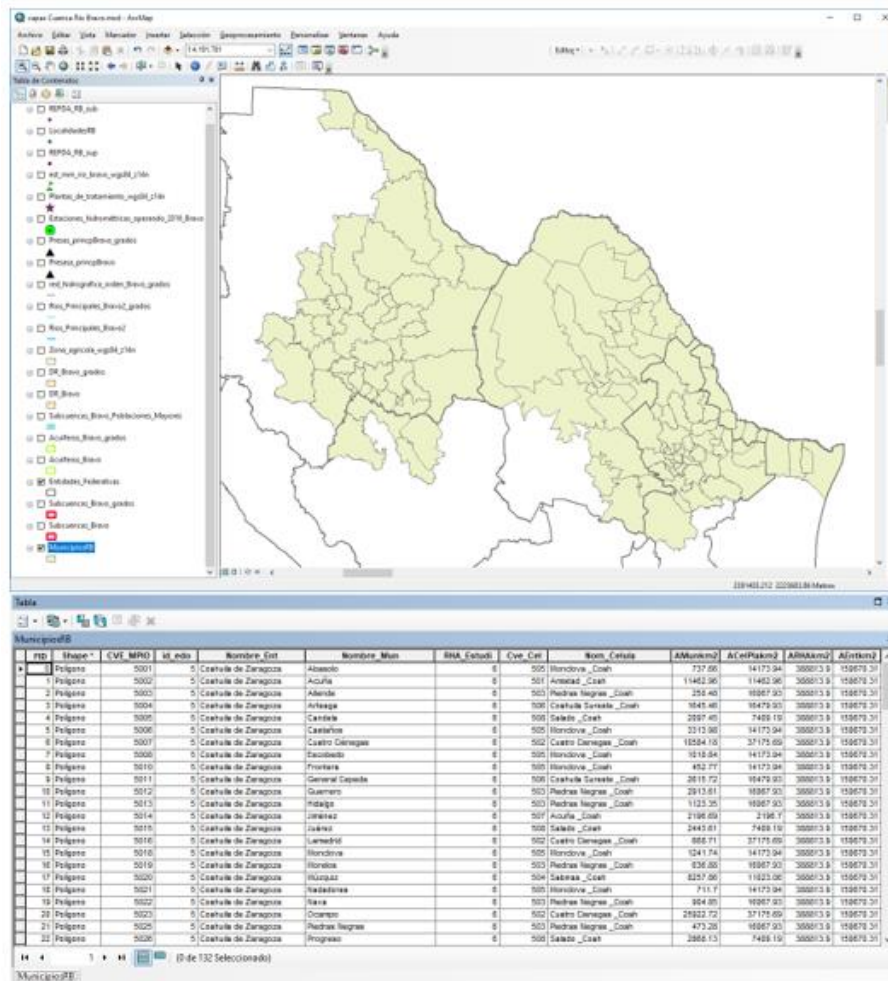


Figura 4.10. Capa de Municipios

Tabla 4.3. Campos con su tipo de dato de la tabla de atributos de la capa de Municipios

Campo	Tipo de Dato
FID	Entero largo
Shape	Texto
CVE_MPIO	Entero largo
id_edo	Doble
Nombre_Ent	Texto
Nombre_Mun	Texto
RHA_Estudi	Doble
Cve_Cel	Doble
Nom_celula	Texto
AMunkm2	Doble
ACelPlankm2	Doble
ARHAKm2	Doble
Aentkm2	Doble

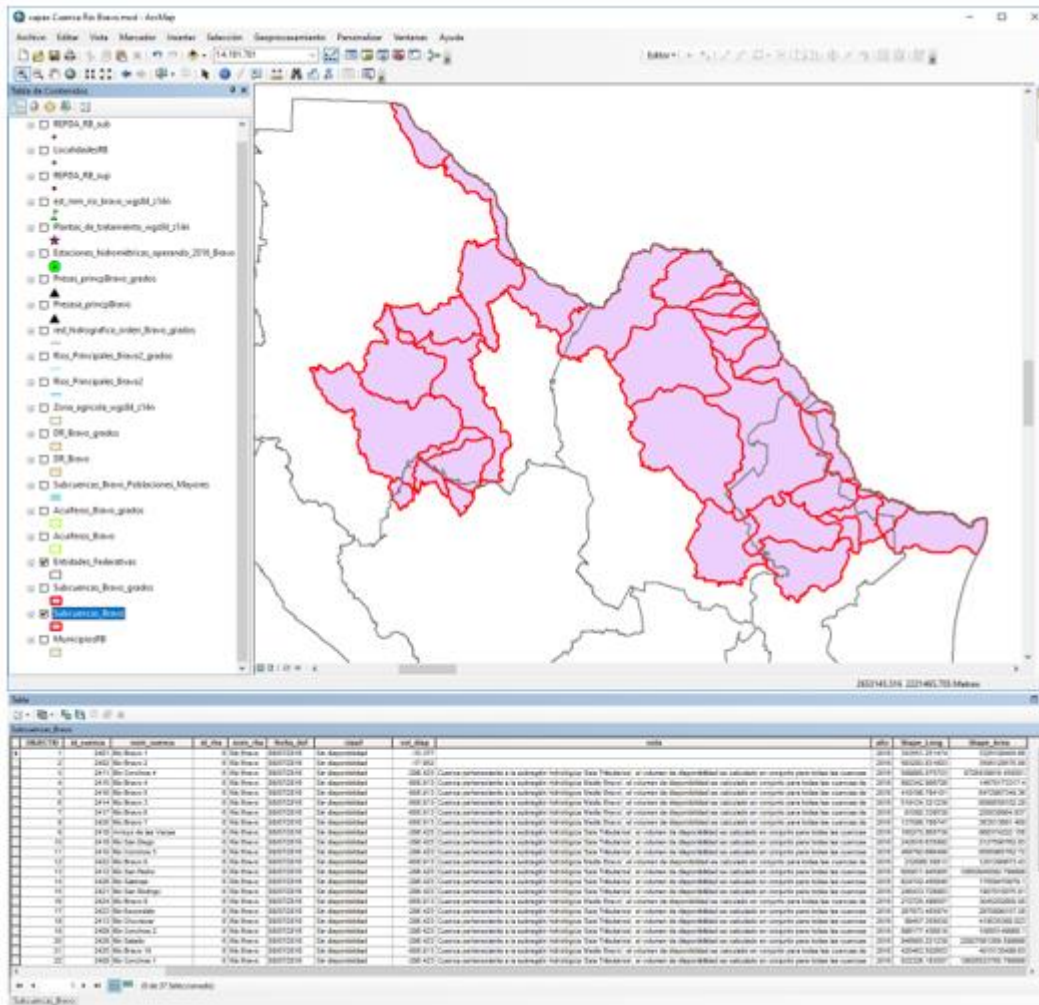


Figura 4.11. Capa de Subcuencas

Tabla 4.4. Campos con su tipo de dato de la tabla de atributos de la capa de Subcuencas

Campo	Tipo de Dato
FID	Entero largo
Shape	Texto
OBJECTID	Entero largo
id_cuenca	Entero largo
Nom_cuenca	Texto

Id_rha	Entero largo
Nom_rha	Texto
Fecha_dof	Fecha
Clasif	Texto
Vol_disp	Doble
nota	Texto
año	Entero largo
Shape_Leng	Doble
Shape_Area	Doble

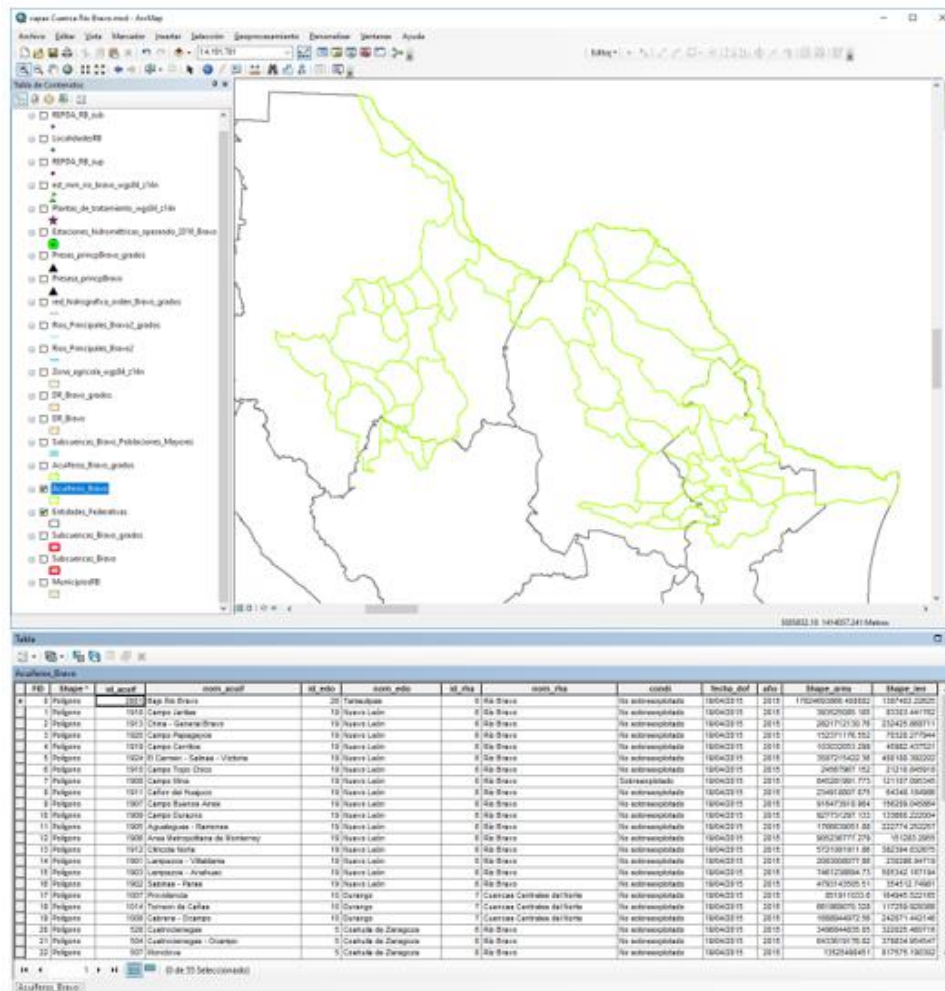


Figura 4.12. Capa de Acuíferos

Tabla 4.5. Campos con su tipo de dato de la tabla de atributos de la capa de Acuíferos

Campo	Tipo de Dato
FID	Entero largo
Shape	Texto
id_acuif	Entero largo
nom_acuif	Texto
id_edo	Entero largo
nom_edo	Texto
id_rha	Entero largo
nom_rha	Texto
condi	Texto
fecha_dof	Fecha
año	Entero largo
Shape_area	Doble
Shape_len	Doble

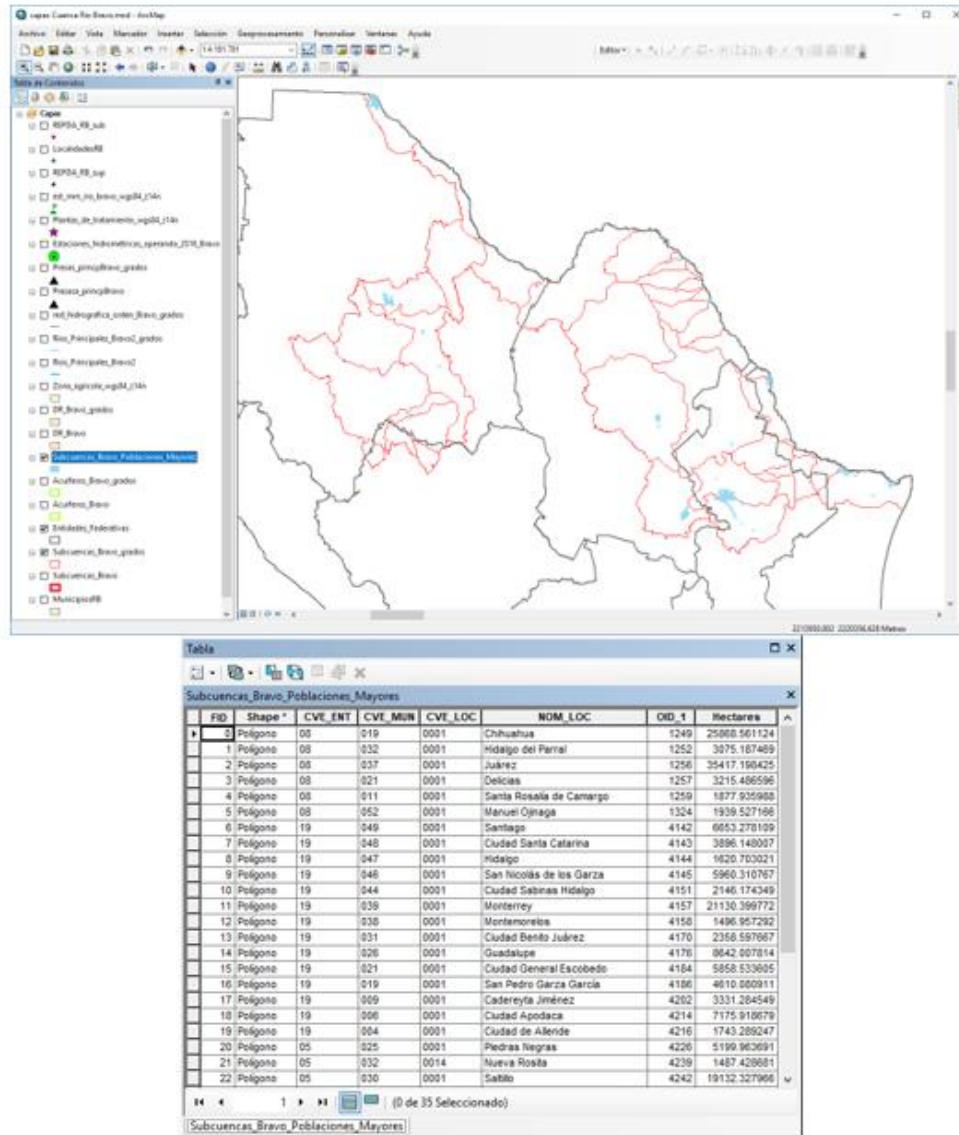


Figura 4.13. Capa de Poblaciones Mayores

Tabla 4.6. Campos con su tipo de dato de la tabla de atributos de la capa de Poblaciones Mayores

Campo	Tipo de Dato
FID	Entero largo
Shape	Texto
CVE_ENT	Texto
CVE_MUN	Texto

CVE_LOC	Texto
NOM_LOC	Texto
OID_1	Entero largo
Hectares	Doble

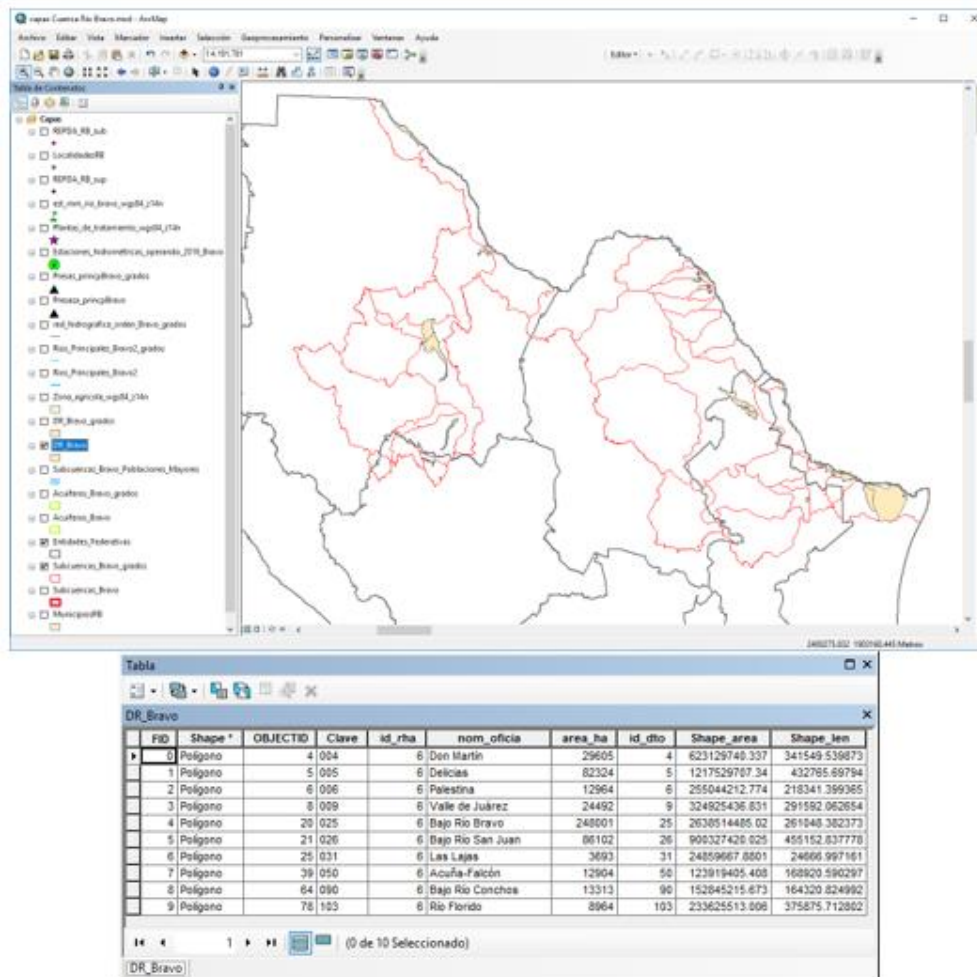


Figura 4.14. Capa de Distritos de Riego

Tabla 4.7. Campos con su tipo de dato de la tabla de atributos de la capa de Distritos de Riego

Campo	Tipo de Dato
FID	Entero largo
Shape	Texto

OBJECTID	Entero largo
Clave	Texto
id_rha	Entero largo
nom_oficia	Texto
area_ha	Doble
id_dto	Doble
Shape_area	Doble
Shape_len	Doble

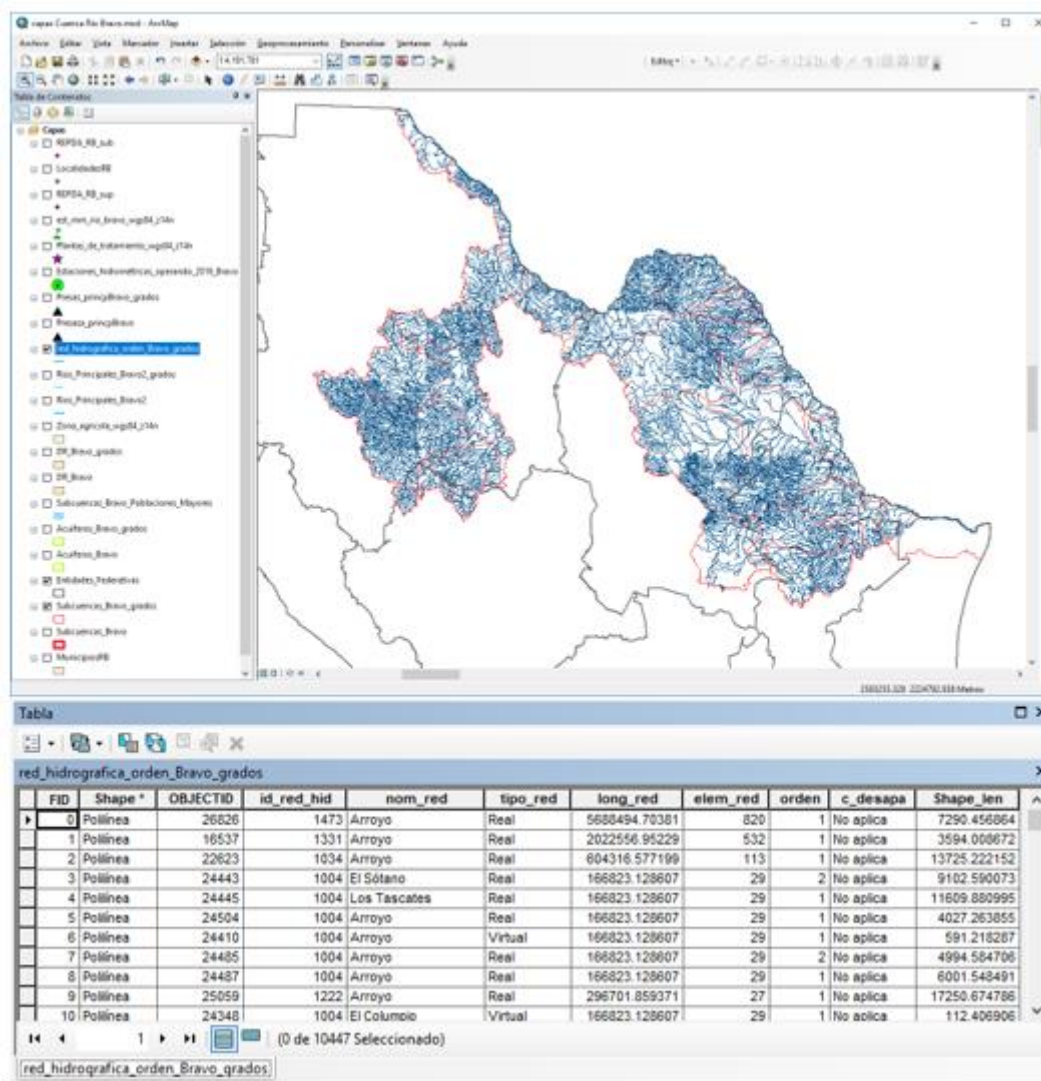


Figura 4.15. Capa de Red Hidrográfica

Tabla 4.8. Campos con su tipo de dato de la tabla de atributos de la capa de Red Hidrográfica

Campo	Tipo de Dato
FID	Entero largo
Shape	Texto
OBJECTID	Entero largo
id_red_hid	Entero largo
nom_red	Texto
tipo_red	Texto
long_red	Doble
elem_red	Entero largo
orden	Entero largo
c_desap	Texto
Shape_len	Doble

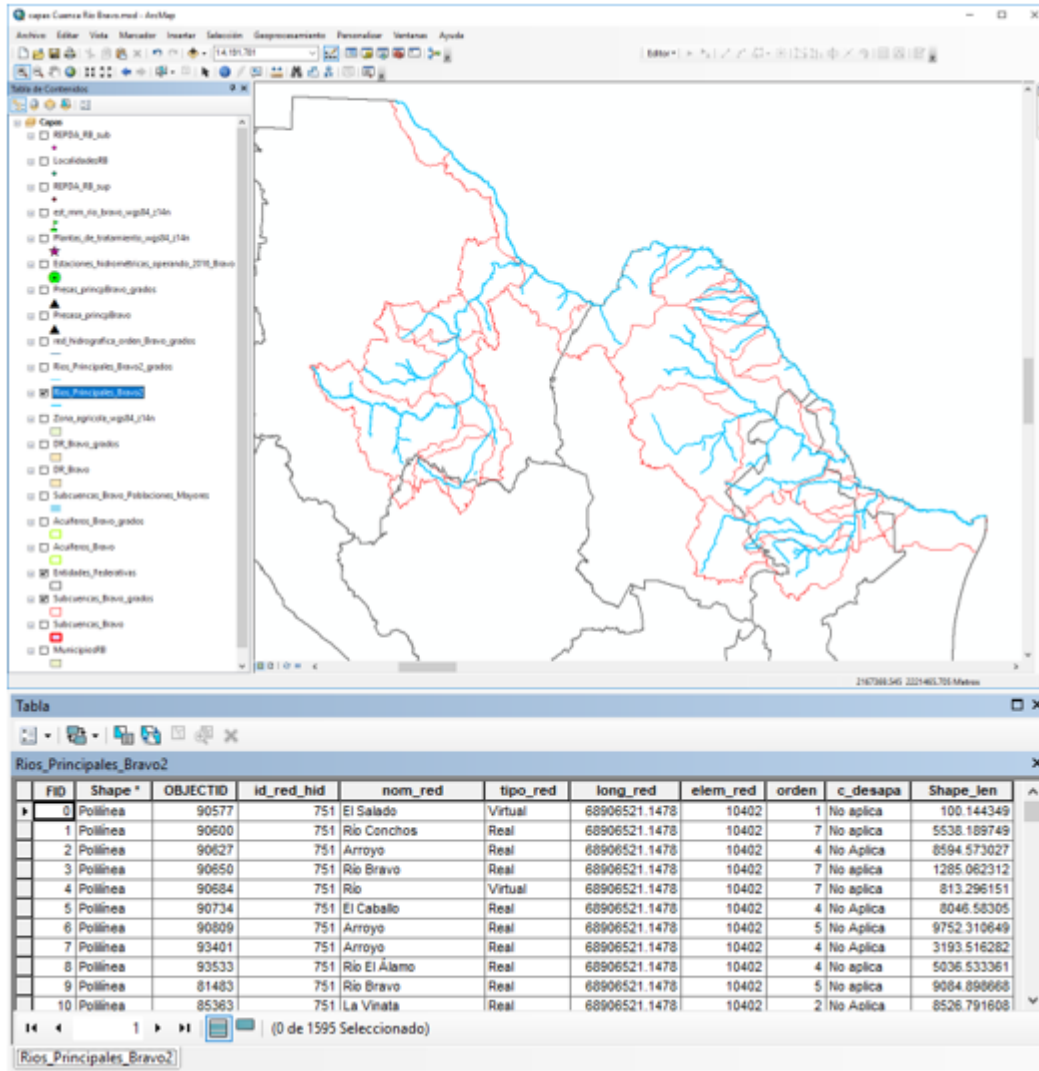


Figura 4.16. Capa de Ríos Principales

Tabla 4.9.- Campos con su tipo de dato de la tabla de atributos de la capa de Ríos Principales

Campo	Tipo de Dato
FID	Entero largo
Shape	Texto
OBJECTID	Entero largo
id_red_hid	Entero largo
nom_red	Texto
tipo_red	Texto

long_red	Doble
elem_red	Entero largo
orden	Entero largo
c_desap	Texto
Shape_len	Doble

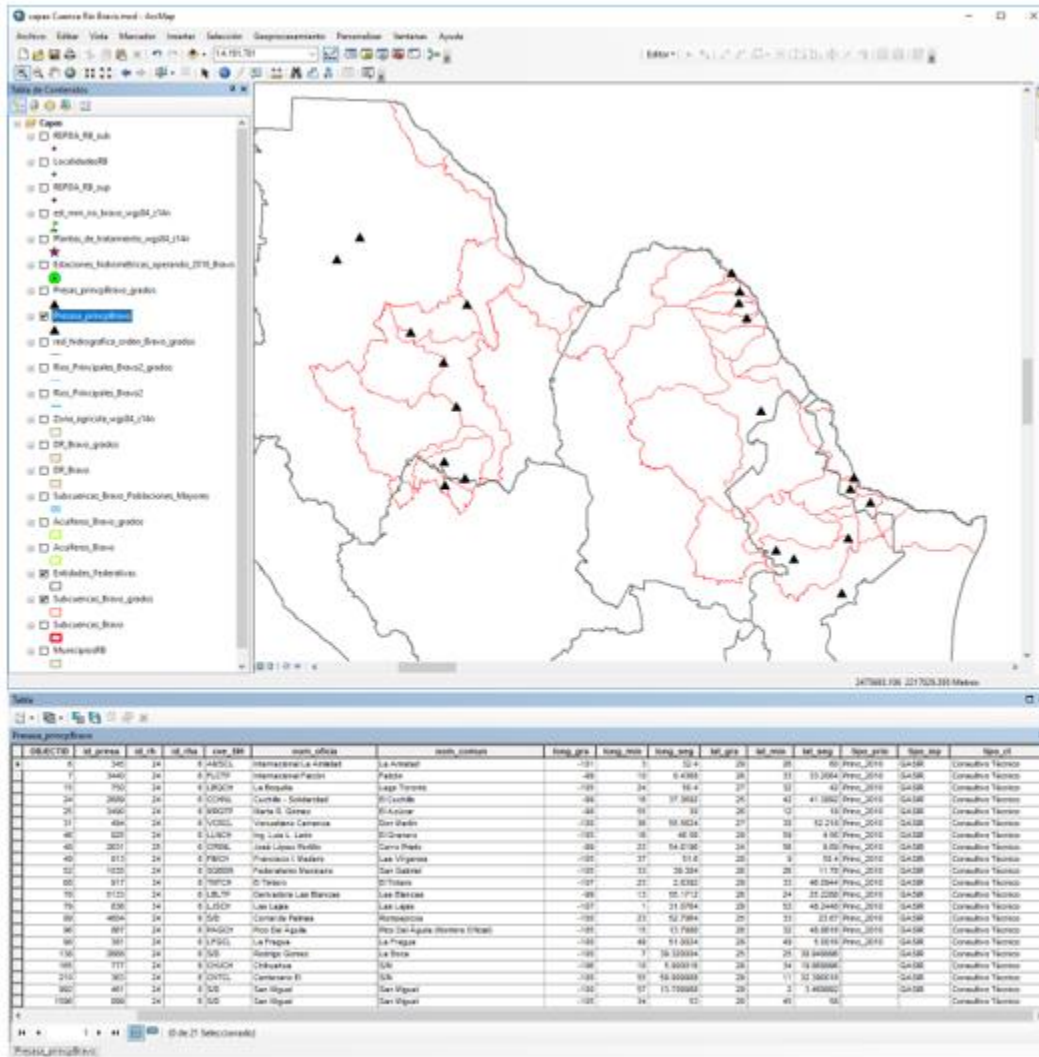


Figura 4.17. Capa de Presas

Tabla 4.10.- Campos con su tipo de dato de la tabla de atributos de la capa de Presas

Campo	Tipo de Dato
FID	Entero largo
Shape	Texto
OBJECTID	Entero largo
id_presa	Entero largo
id_rh	Entero largo
id_rha	Entero largo
cve_SIH	Texto
nom_oficia	Texto
nom_comun	Texto
long_gra	Entero largo
long_min	Entero largo
long_seg	Doble
lat_gra	Entero largo
lat_min	Entero largo
lat_seg	Doble
tipo_prin	Texto
tipo_inp	Texto
tipo_ct	Texto

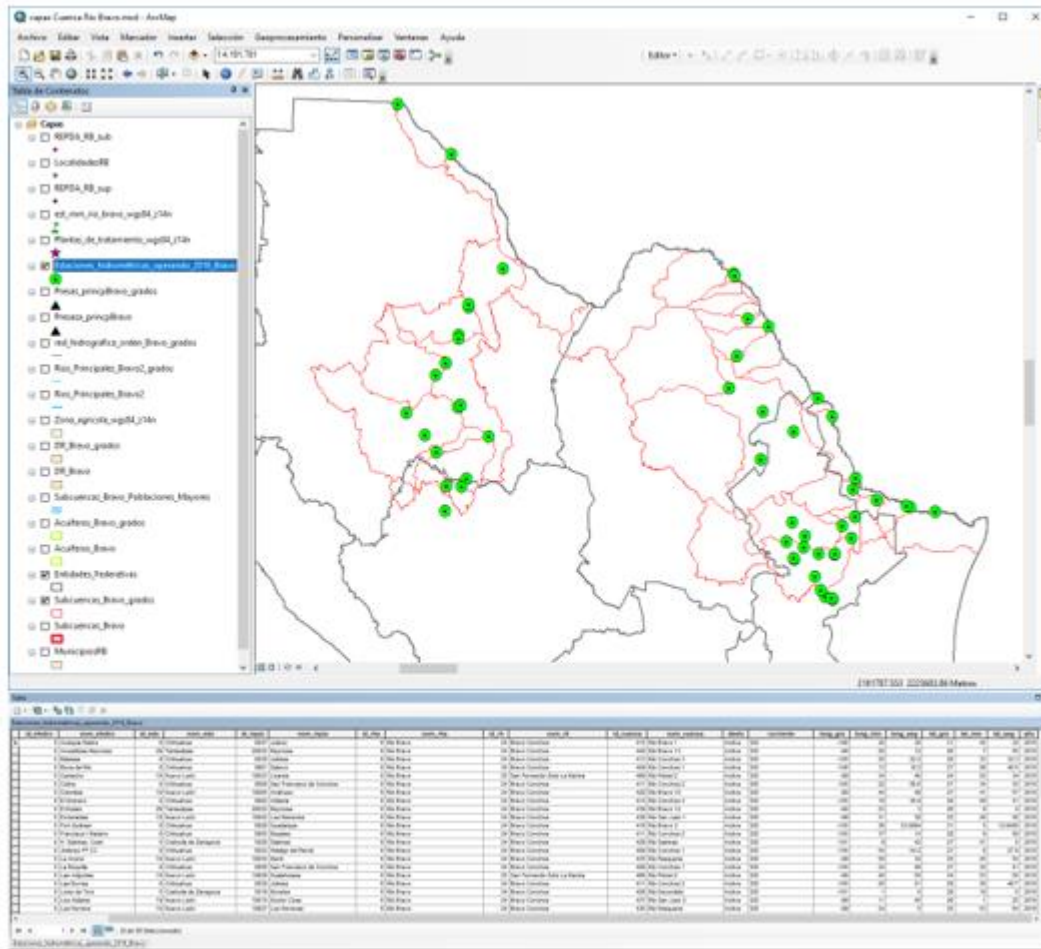


Figura 4.18. Capa de Estaciones Hidrométricas

Tabla 4.11. Campos con su tipo de dato de la tabla de atributos de la capa de Estaciones Hidrométricas

Campo	Tipo de Dato
FID	Entero largo
Shape	Texto
id_ehidro	Entero largo
nom_ehidro	Texto
id_edo	Entero largo
nom_edo	Texto

id_mpio	Entero largo
nom_mpio	Texto
id_rha	Entero largo
nom_rha	Texto
id_rh	Entero largo
nom_rh	Texto
id_cuenca	Entero largo
nom_cuenca	Texto
deetc	Texto
corriente	Texto
long_gra	Entero largo
long_min	Entero largo
long_seg	Doble
lat_gra	Entero largo
lat_min	Entero largo
lat_seg	Doble
año	Entero largo

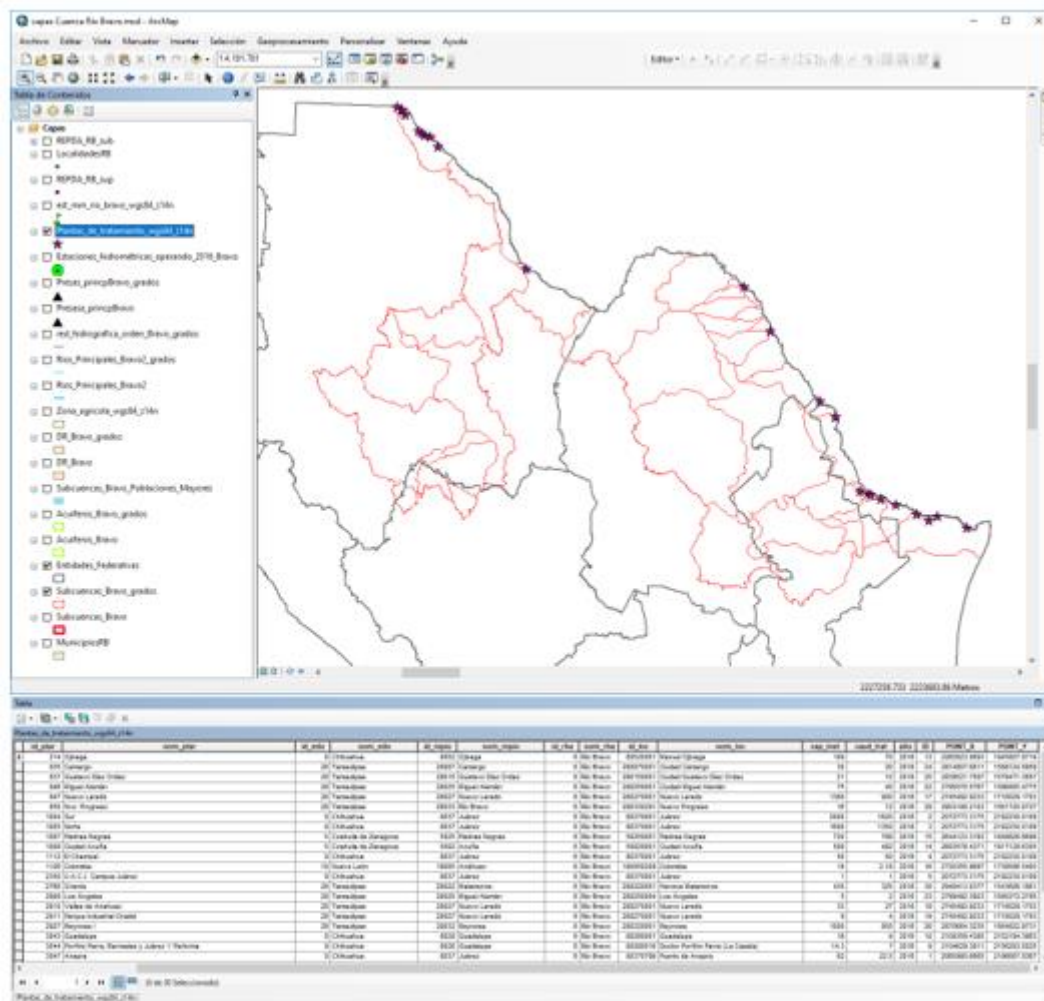


Figura 4.19. Capa de Plantas de Tratamiento

Tabla 4.12.- Campos con su tipo de dato de la tabla de atributos de la capa de Plantas de Tratamientos

Campo	Tipo de Dato
FID	Entero largo
Shape	Texto
id_ptar	Entero largo
nom_ptar	Texto
id_edo	Entero largo
nom_edo	Texto

id_mpio	Entero largo
nom_mpio	Texto
id_rha	Entero largo
nom_rha	Texto
id_loc	Entero largo
nom_loc	Texto
cap_inst	Doble
caud_trat	Doble
año	Entero largo
ID	Entero largo
POINT_X	Doble
POINT_Y	Doble

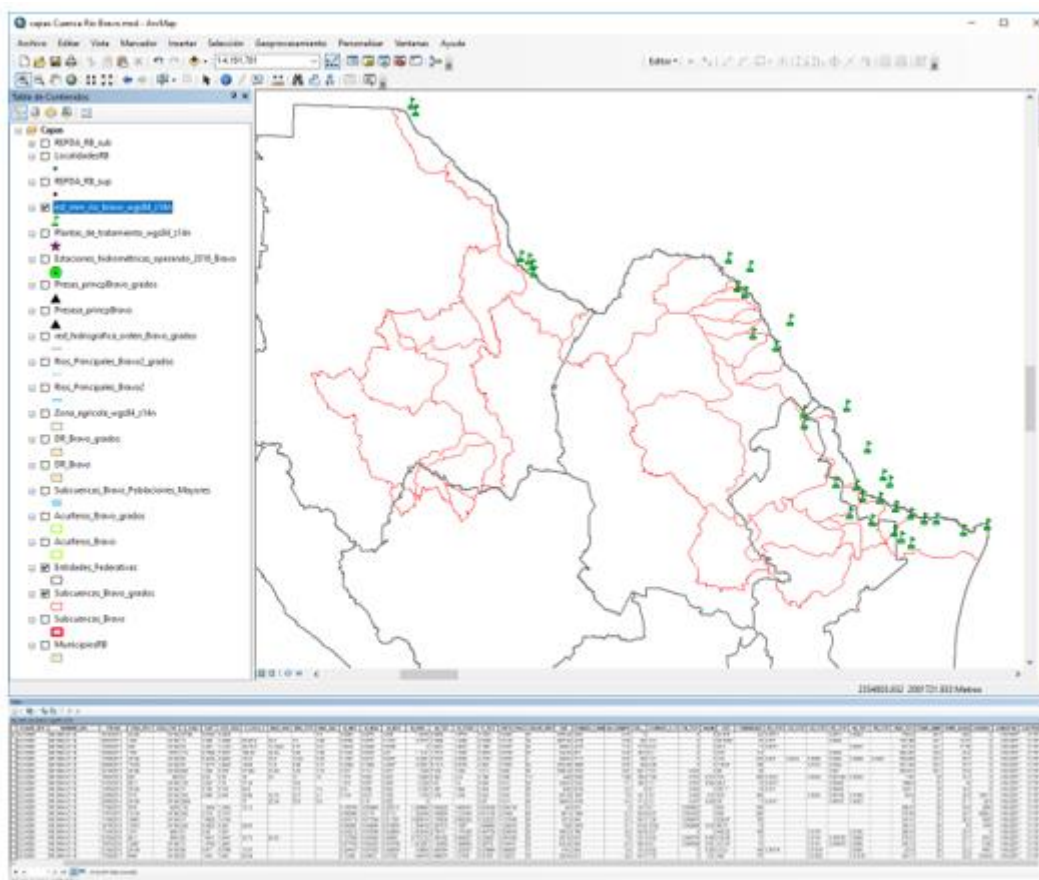


Figura 4.20. Capa de Estaciones de Calidad del Agua

Tabla 4.13. Campos con su tipo de dato de la tabla de atributos de la capa de Estaciones de Calidad del Agua

Campo	Tipo de Dato	Campo	Tipo de Dato
FID	Entero largo	COLOR_VE R	Texto
Shape	Texto	SDT	Doble
CLAVE_SITI	Texto	CONDUC_C AM	Texto
NOMBRE_D EL	Texto	pH_CAMPO	Doble
FECHA	Fecha	OD_	Doble
COLI_FEC	Texto	CONDUC_C _1	Texto
COLI_TOT	Entero largo	CN_TOT	Doble
E_COLI	Texto	SAAM	Doble
COT	Entero largo	SST	Texto
COT_SOL	Texto	TURBIEDAD	Doble
E_COLI_1	Texto	AS_TOT	Texto
DQO_SOL	Texto	CD_TOT	Texto
DBO_TOT	Texto	CR_TOT	Texto
DBO_SOL	Texto	HG_TOT	Texto
N_nh3	Texto	NI_TOT	Texto
N_NO2	Texto	PB_TOT	Texto
N_NO3	Texto	DUR_TOT	Doble
N_ORG	Doble	TEMP_AMB	Doble
N_TOT	Texto	TEMP_AGU A	Doble
N_TOTK	Texto	CAUDAL	Doble
P_TOT	Texto	LONGITUD	Doble
ORTO_PO4	Texto	LATITUD	Doble

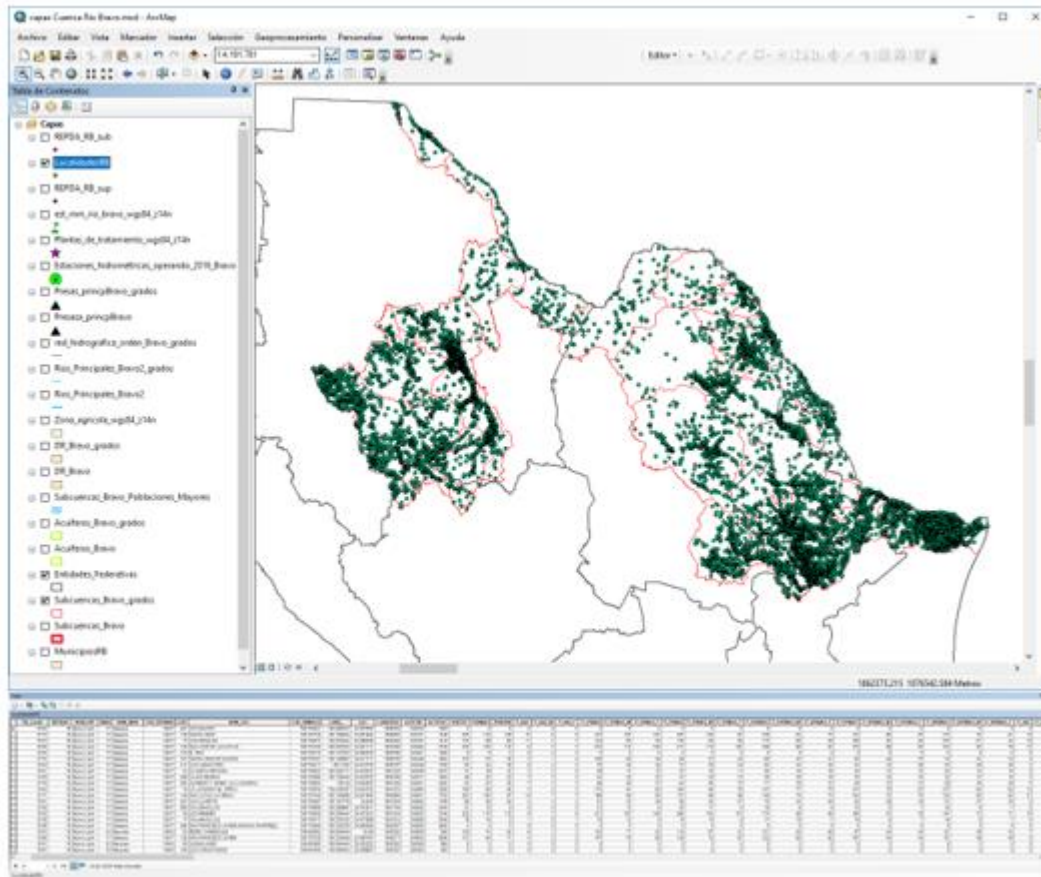


Figura 4.21. Capa de Localidades

Tabla 4.14. Campos con su tipo de dato de la tabla de atributos de la capa de Localidades

Campo	Tipo de Dato	Campo	Tipo de Dato
FID	Entero largo	P_0A2_F	Doble
Shape	Texto	P_3YMAS	Doble
OBJECTID	Entero largo	P_3YMAS_M	Doble
FID_Locali	Entero largo	P_3YMAS_F	Doble
ENTIDAD	Doble	P_5YMAS	Doble
NOM_ENT	Texto	P_5YMAS_M	Doble
MUN	Doble	P_5YMAS_F	Doble
NOM_MUN	Texto	P_12YMAS	Doble

CVE_ENTM UN	Doble	P_12YMAS_ M	Doble
LOC	Doble	P_12YMAS_ F	Doble
NOM_LOC	Texto	P_15YMAS	Doble
CVE_ENMU LO	Doble	P_15YMAS_ M	Doble
LONG_	Doble	P_15YMAS_ F	Doble
LAT	Doble	P_18YMAS	Doble
LONGITUD	Doble	P_18YMAS_ M	Doble
LATITUD	Doble	P_18YMAS_ F	Doble
ALTITUD	Doble	P_3A5	Doble
POBTOT	Doble	P_3A5_M	Doble
POBMAS	Doble	P_3A5_F	Doble
POBFEM	Doble	P_6A11	Doble
P_0A2	Doble	P_6A11_M	Doble
P_0A2_M	Doble

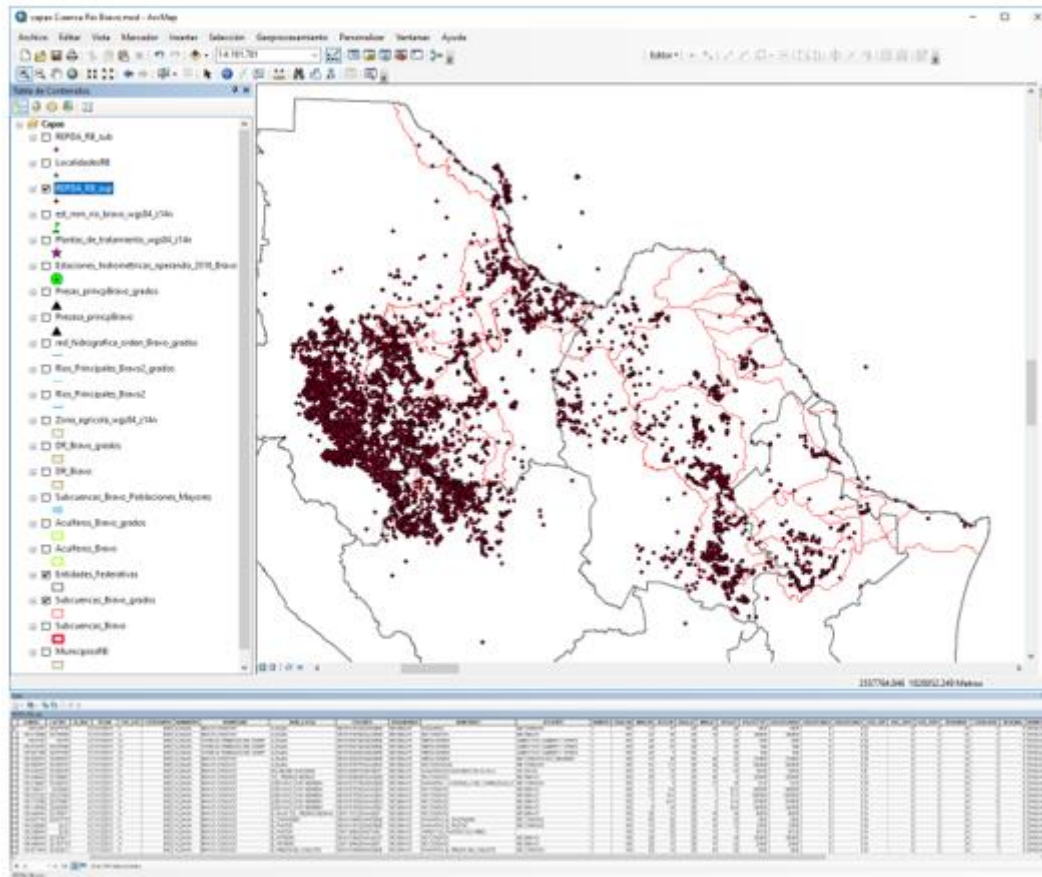


Figura 4.22. Capa de Aprovechamientos Superficiales

Tabla 4.15.- Campos con su tipo de dato de la tabla de atributos de la capa de Aprovechamientos Superficiales

Campo	Tipo de Dato	Campo	Tipo de Dato
FID	Entero largo	SEGLAT	Doble
Shape	Texto	VOLEXTTOT	Doble
OBJECTID	Entero largo	VOLEXTAN UA	Doble
LONDEC	Doble	VOLEXTAN U2	Doble
LATDEC	Doble	VOLEXTAN U3	Doble
ID_RHA	Doble	USO_SUP	Texto
FECHA	Fecha	USO_SUP2	Doble

CVE_USO	Texto	USO_SUP3	Doble
CVEEDOMPIO	Doble	REGIONHID	Doble
NOMMUPIO	Texto	CUENCAHID	Doble
NOMREGHID	Texto	REGIONAL	Doble
NOM_LOCAL	Texto	NOMESTADO	Texto
FOLIOREG	Texto	ESTADO	Doble
ORGANISMO	Texto	MUPIO	Doble
NOMFUENTE	Texto	NUM_INSTAL	Doble
AFLUENTE	Texto	TIPOGEN_2	Doble
NUMERO	Texto	Coincidenc	Doble
GRALON	Doble	Mayores_a	Texto
MINLON	Doble	CLAVE_LOC	Texto
SEGLON	Doble	CLV_CUENCA	Doble
GRALAT	Doble	Bandera	Entero largo
MINLAT	Doble		

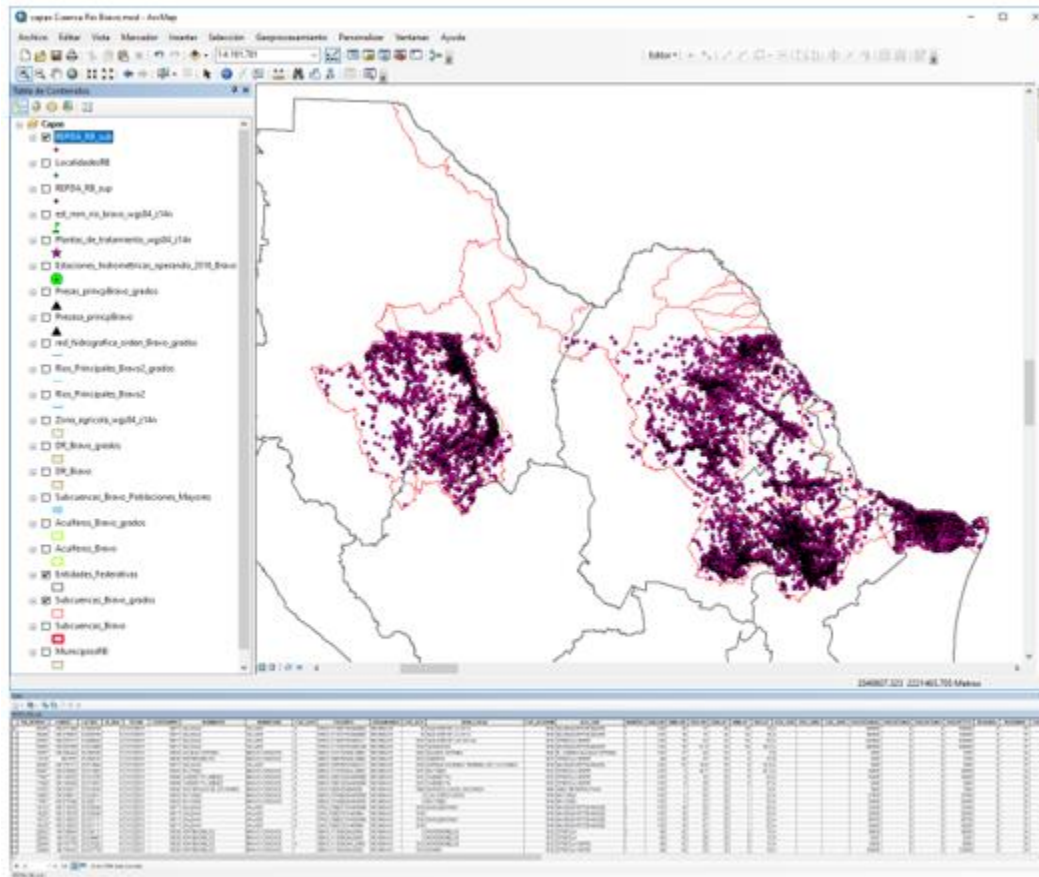


Figura 4.23. Capa de Aprovechamientos Subterráneos

Tabla 4.16. Campos con su tipo de dato de la tabla de atributos de la capa de Aprovechamientos Subterráneos

Campo	Tipo de Dato	Campo	Tipo de Dato
FID	Entero largo	GRALAT	Entero largo
Shape	Texto	MINLAT	Entero largo
OBJECTID	Entero largo	SEGLAT	Flotante
FIDREPDAS	Entero largo	USO_SUB	Texto
LONDEC	Doble	USO_SUB2	Texto
LATDEC	Doble	USO_SUB3	Texto
ID_RHA	Entero largo	VOLEXTAN UA	Doble
FECHA	Fecha	VOLEXTAN U2	Doble

CVEEDOMPIO	Entero largo	VOLEXTANU3	Doble
NOMMUPIO	Texto	VOLEXTTOT	Doble
NOMREGHID	Texto	REGIONAL	Entero largo
CVE_USO	Texto	REGIONHID	Entero largo
FOLIOREG	Texto	CUENCAHID	Entero largo
ORGANISMO	Texto	ESTADO	Entero largo
CVE_ACU	Entero largo	NOMESTADO	Texto
NOM_LOCAL	Texto	MUPIO	Entero largo
CVE_ACUHOM	Entero largo	TIPOGEN_2	Texto
ACU_SUB	Texto	FID_Cuenca	Entero largo
NUMERO	Texto	Link	Texto
GRALON	Entero largo	Cve_Cuenca	Doble
MINLON	Entero largo	Cuenca_hid	Texto
SEGLON	Flotante

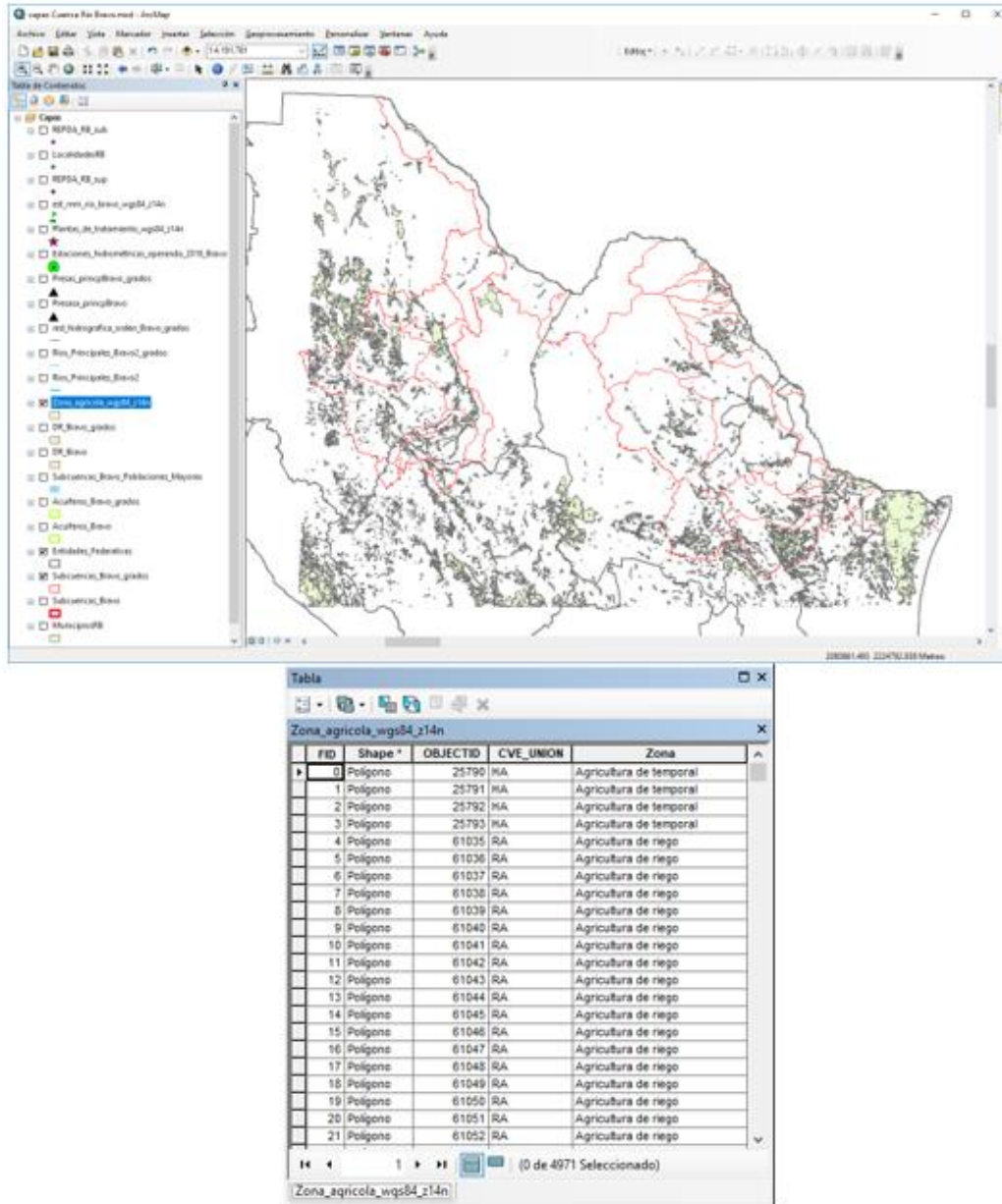


Figura 4.24. Capa de Zonas Agrícolas

Tabla 4.17. Campos con su tipo de dato de la tabla de atributos de la capa de Zonas Agrícolas

Campo	Tipo de Dato
FID	Entero largo
Shape	Texto

OBJECTID	Entero largo
CVE_UNION	Texto
Zona	Texto

5. EDICIÓN DE LIBRO SOBRE FLUJOS DEL AGUA SUBTERRÁNEA

Ver anexo 3.

6. ESTUDIOS REQUERIDOS PARA ACTUALIZAR LA CALIDAD Y DISPONIBILIDAD DEL AGUA

Durante el análisis de la información de las publicaciones de disponibilidad de agua subterránea y de estudios previos se identificaron 16 Acuíferos (Tabla 4.1 y Fig. 4.1) que requieren de estudios hidrogeológicos para determinar su balance de agua con mayor precisión. Estos acuíferos carecen de información piezométrica, de calidad del agua, geofísica, principalmente. Por ello, se recomienda realizar un estudio geohidrológico completo que permita estimar con mayor precisión el balance de aguas subterránea que incluiría las siguientes actividades:

- a) Censo de aprovechamientos.
- b) Mediciones piezométricas.
- c) Ejecución de pruebas de bombeo.
- d) Muestreo y análisis geoquímico del agua.
- e) Ejecución de sondeos geofísicos
- f) Análisis geológico-geofísico del subsuelo
- g) Estimación de los componentes del balance de aguas subterráneas

Tabla 6.1 Lista de Acuíferos que requieren de un estudio geohidrológico.

Clave CONAGUA	Acuífero	Estado
0846	Carichi-Nonoava	Chihuahua
0843	Bocoyna	Chihuahua
0845	San Felipe de Jesús	Chihuahua
0844	Valle de Zaragoza	Chihuahua
0832	Jiménez -Camargo	Chihuahua
0837	Bajo Río Conchos	Chihuahua

0842	Álamo Chapo	Chihuahua
0839	Manuel Benavides	Chihuahua
0503	Cerro Colorado-La Partida	Coahuila
0522	Presa La Amistad	Coahuila
0513	Palestina	Coahuila
0514	Hidalgo	Coahuila
1918	Campo Jaritas	Nvo. León
1919	Campo Cerritos	Nvo. León
1905	Agualeguas-Ramones	Nvo. León
1913	China-Gral. Bravo	Nvo. Leon



Figura 6.1. Acuíferos con poca información.

6.1 RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE LA BASE DE DATOS REPDA

Para obtener el volumen de agua por uso fue necesario contar con los registros de la base de datos REPDA en formato shape a nivel nacional (Conagua, 2013), dicha información se colocó en un proyecto GIS junto con las capas de municipios, localidades, cuencas, red hidrográfica, cuerpos de aguas y presas.

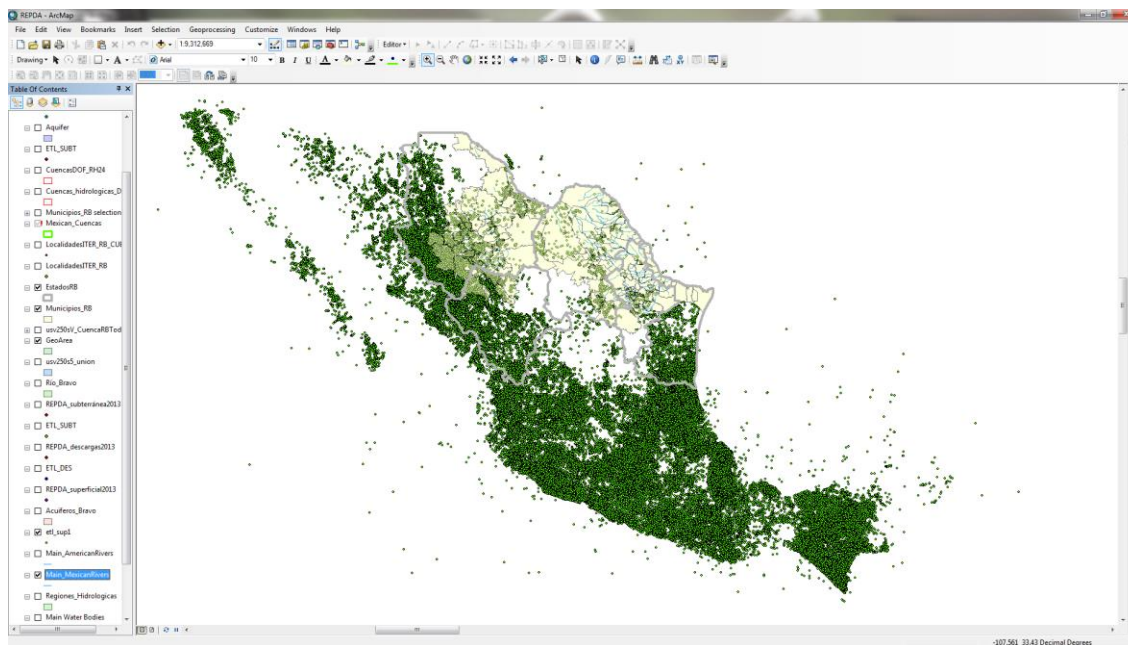


Figura 6.2. Selección de registros de la región hidrológica 24 Bravo-Conchos
Los datos contenidos en la base de datos REPDA son los siguientes:

- LONDEC. Longitud en grados decimales
- LATDEC. Latitud en grados decimales
- ID_RHA. Clave de la Región Hidrológica Administrativa
- FECHA. Día, mes y año de alta del registro
- CVE_USO. Clave de uso
- CVEEDOMPIO. Clave de municipio
- NOMMUPIO. Nombre del municipio
- NOM_LOCAL. Nombre de la localidad
- FOLIOREG. Folio único de registro
- ORGANISMOC. Nombre del organismo de cuenca
- NOMFUENTE. Nombre de la fuente
- AFLUENTE. Nombre del afluente
- VOLEXTTOT. Volumen extraído anual total
- VOLEXTANUA. Volumen extraído anual primer uso
- VOLEXTANUA2. Volumen extraído anual segundo uso
- VOLEXTANUA3. Volumen extraído anual tercer uso
- USO_SUP. Tipo del primer uso
- USO_SUP2. Tipo del segundo uso
- USO_SUP3. Tipo del tercer uso
- REGIONHID. Región hidrológica
- CUENCAHID. Cuenca hidrológica.
- NOMESTADO. Nombre de la entidad federativa
- ESTADO. Clave de la entidad federativa.

Como puede observarse en el listado, existen dos campos que definen a la región y cuenca hidrológica a la que pertenece cada registro, sin embargo, al hacer la selección de los

registros pertenecientes a la región hidrológica 24 Bravo-Conchos se visualizaron registros fuera de la zona en estudio.

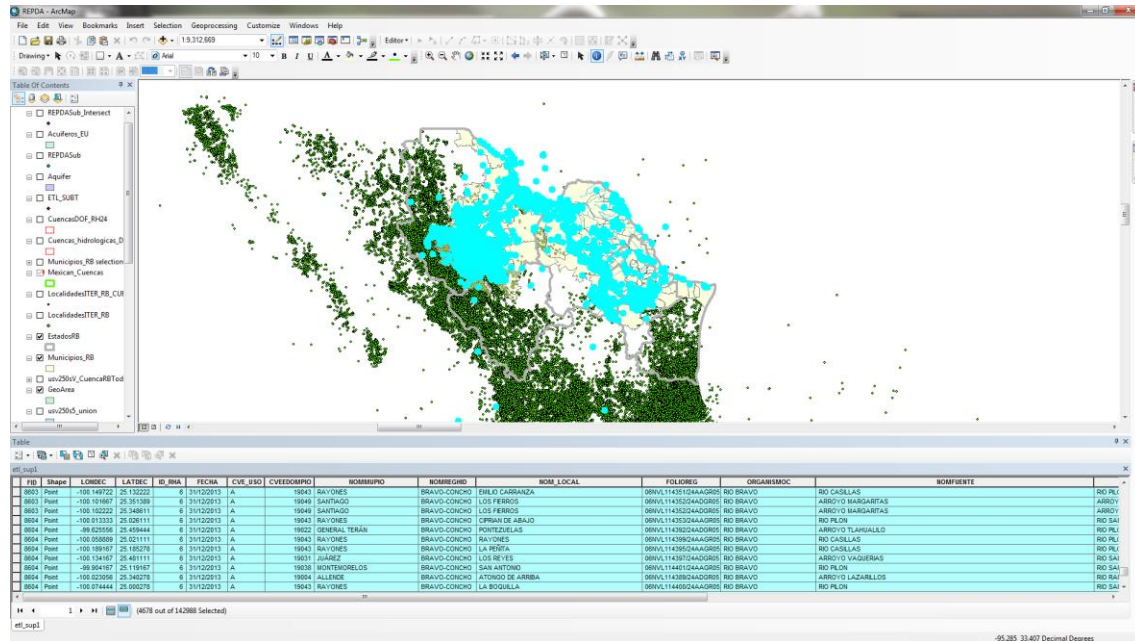


Figura 6.3. Selección de registros de la región hidrológica 24 Bravo-Conchos

Con base en lo anterior se procedió a realizar una revisión de los registros para identificar aquellos ubicados dentro de la zona y definir la cuenca a la que pertenece el volumen de uso, ya que la base de datos REPDA no cuenta con una ubicación geográfica exacta, lo que impide la obtención del dato por cuenca, por lo que fue necesario realizar una búsqueda de aquellos registros que se ubican dentro de la zona con ayuda de la localidad en la que se registró.

6.1.1 Metodología para la revisión de la base de datos REPDA

Tomando en cuenta los datos de localidad, municipio y estado contenidos en el registro, se procedió a realizar búsquedas para comparar dicha información con las capas oficiales de INEGI, para ello se realizó lo siguiente:

- a. Identificación de municipios en la zona.

Con el uso de herramientas GIS, se identificaron aquellos municipios que de manera total o parcial se localizaban en la zona de estudio.



Figura 6.4. Municipios localizados parcial o totalmente en la región hidrológica 24 Bravo-Conchos

Como resultado se obtuvo una lista de 132 municipios.

b. Extracción de registros correspondientes a los municipios

Tomando en cuenta el listado de municipios, se extrajeron de la base de datos REPDA nacional los registros en los que en su campo municipio coincidiera con dicha lista, quedando un total de 6,589 registros.

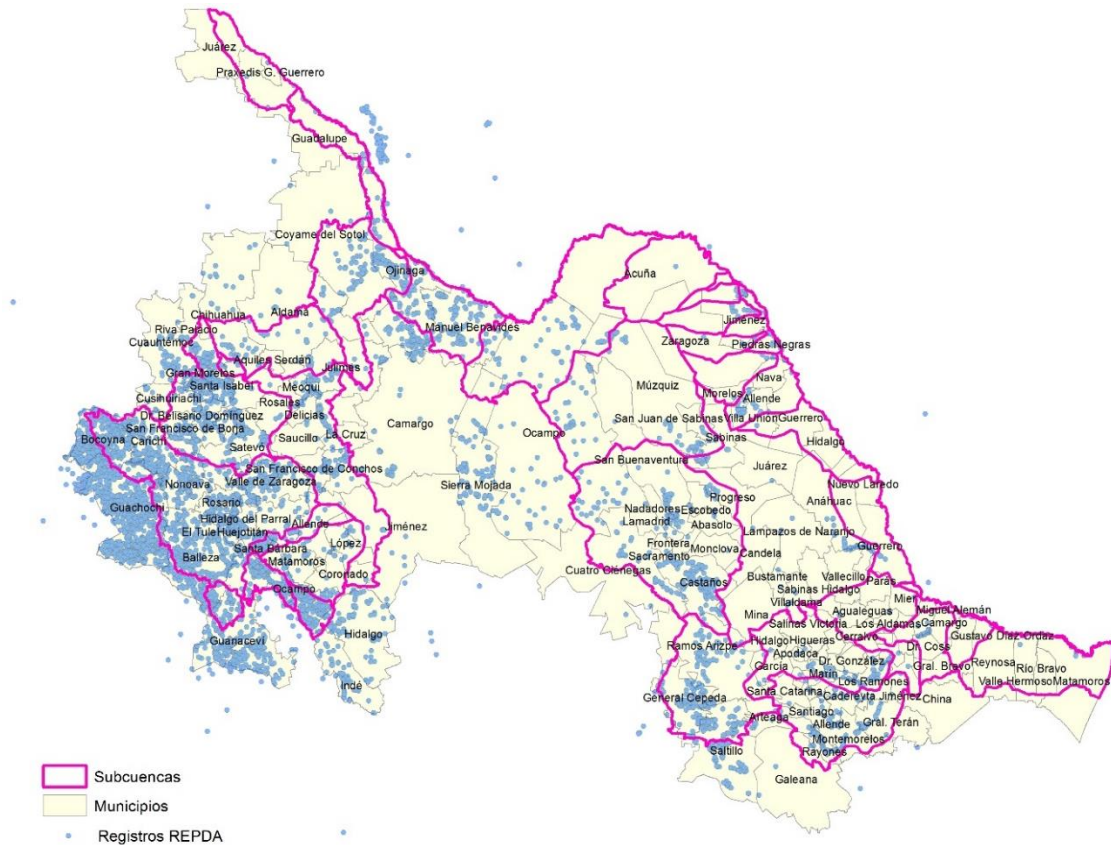


Figura 6.5. Registros REPDA identificados en municipios de la región hidrológica 24 Bravo-Conchos

c. Selección de localidades ubicadas dentro de la región hidrológica 24 Bravo-Conchos

Dentro de la información contenida en los registros REPDA se cuenta con el nombre de la localidad, por lo que se procedió a identificar a las localidades que se ubicaban dentro de la región, para ello se utilizó la capa de localidades de INEGI, la cual se intersectó con la capa de cuencas para enlazar cada localidad a una cuenca de la región.

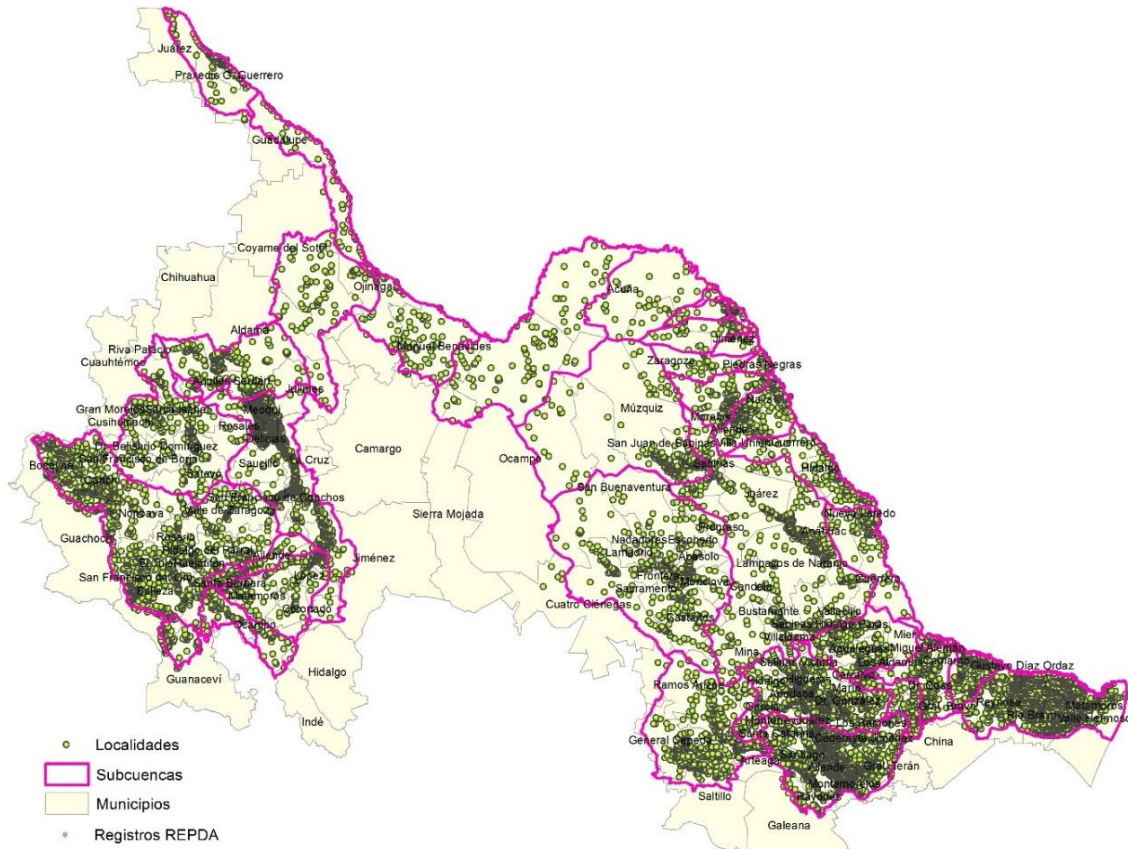


Figura 6.6. Localidades localizadas dentro de la región hidrológica 24 Bravo-Conchos
En total se identificaron 12345 localidades ubicadas dentro de la zona de estudio.

d. Asignación de clave de localidad a los registros de la base de datos REPDA

Dentro de los campos de los registros REPDA no se cuenta con la clave de localidad, sin embargo, se tiene el nombre de la misma, por lo que fue necesario realizar búsquedas y comparaciones de dicho campo con la capa de localidades de INEGI con el objeto de asignar la clave de la misma.

La búsqueda se filtró por estado y municipio debido a que existían nombres iguales de localidades en diferentes municipios y estados.

El nombre de la localidad en el registro REPDA no está estandarizado, por lo que se identificaron los siguientes problemas en algunos de los registros:

- No hay coincidencia exacta del nombre
- Existe información adicional al nombre (paréntesis, corchetes)
- No están acentuados los nombres
- Existen palabras invertidas.
- Algunos nombres contienen la palabra ciudad, ejido o rancho.

Algunos de los registros no coincidieron con el listado de las localidades ubicadas dentro de la zona, por lo que se procedió a aplicar otro tipo de búsqueda.

e. *Asignación de la clave de cuenca utilizando la clave de localidad*

Una vez asignada la clave de localidad en los registros, y utilizando el shape de localidades de INEGI que contiene la cuenca correspondiente, se insertó la clave de cuenca correspondiente. Para ello se siguió uno de los siguientes procesos:

- Con el uso de la función BUSCARV de Excel
- Haciendo un Join dentro de la aplicación ArcGIS

f. *Asignación de la clave de cuenca utilizando fuente y afluente*

En algunos registros no fue posible asignar la clave de la localidad, por lo que se amplió la búsqueda a través de la fuente y afluente, los cuales podrían ser un río, presa o cuerpo de agua.

Para ello se procedió a obtener el nombre de la fuente y afluente de los registros REPDA y se comparó con las capas correspondientes dentro de un proyecto GIS.

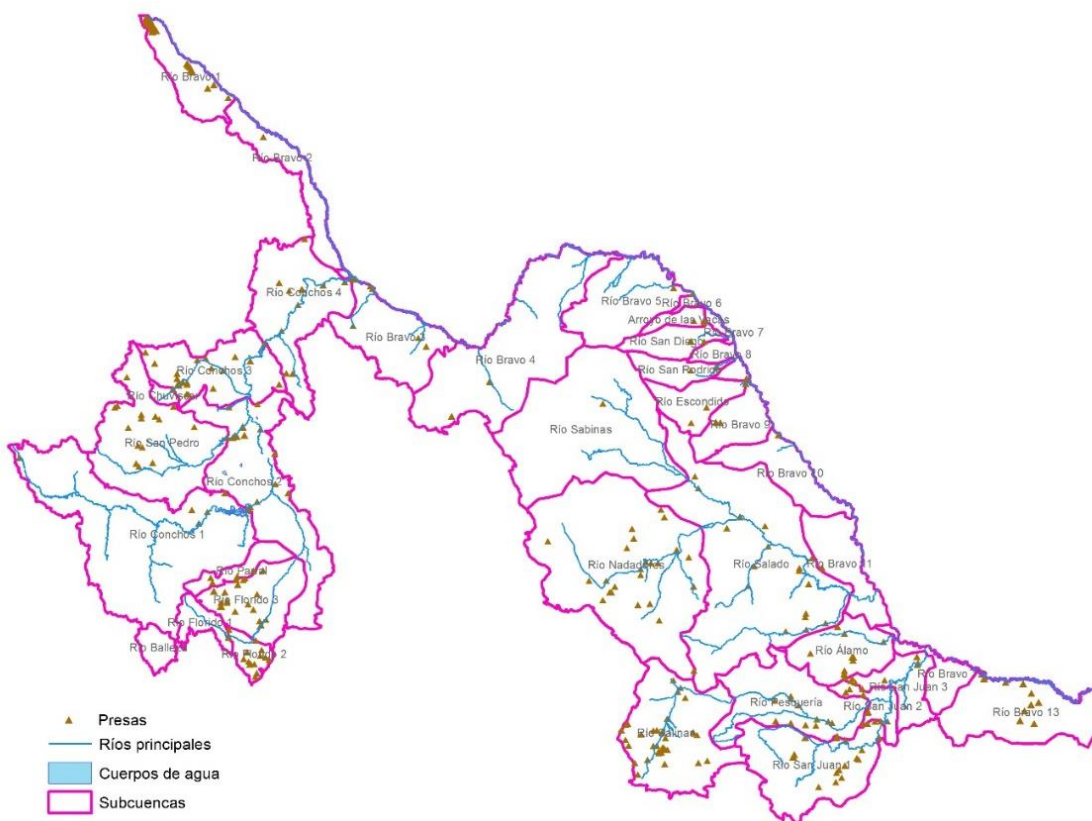


Figura 6.7. Presas, ríos y cuerpos de agua dentro de la región hidrológica 24 Bravo-Conchos

6.1.2 Criterios para asignación de la clave de la cuenca

Para poder asignar la cuenca correspondiente se definieron los siguientes criterios, indicados en orden de prioridad:

Localidad indicada en el registro de la base REPDA.

Fuente y afluente.

Casos especiales.

6.1.3 Herramienta para la asignación de cuenca hidrológica a la BD REPDA

Derivado del procedimiento anterior y de la cantidad de registros a revisar, se diseñó una herramienta GIS desarrollada en lenguaje Python para aplicar dicha metodología.

Python es un lenguaje de programación del propósito general, el cual cuenta con estructuras de datos eficientes y de alto nivel, además de un enfoque simple pero efectivo a la programación orientada a objetos (POO), es un lenguaje ideal para el desarrollo rápido de aplicaciones en diversas áreas y sobre la mayoría de las plataformas.

Por otro lado, se utilizó la librería ArcPy que representa un conjunto de elementos propios de ArcGIS y completa la biblioteca de Python, dando con ello acceso desde la programación al manejo y explotación de información espacial, lo que permitió la optimización de trabajos relacionados al análisis espacial, acceso de lectura y escritura a datos alfanuméricos, manejo y conversión a diferentes formatos, administración de información geográfica y generación automatizada de mapas y series cartográficas.

6.1.4 Requerimientos

Como parte del diseño de la herramienta se definieron los requerimientos funcionales y no funcionales:

Debe ejecutarse dentro de un proyecto GIS.

Debe poder acceder a la información contenida en shapes.

Debe realizar búsquedas por el nombre de la localidad en diferentes shapes.

Debe realizar búsquedas por el fuente y afluente en diferentes shapes.

Debe asignar la clave de localidad correspondiente en la capa REPDA.

Debe asignar la clave de cuenca en la capa REPDA.

6.1.5 Generación del proyecto GIS

Utilizando la aplicación ArcGIS 10.3 se creó un proyecto en el que se insertaron las capas necesarias para el funcionamiento de la herramienta:

Registros REPDA (Conagua)

Localidades (INEGI)

Municipios (INEGI)

Estados

Presas

Cuerpos de agua

Ríos

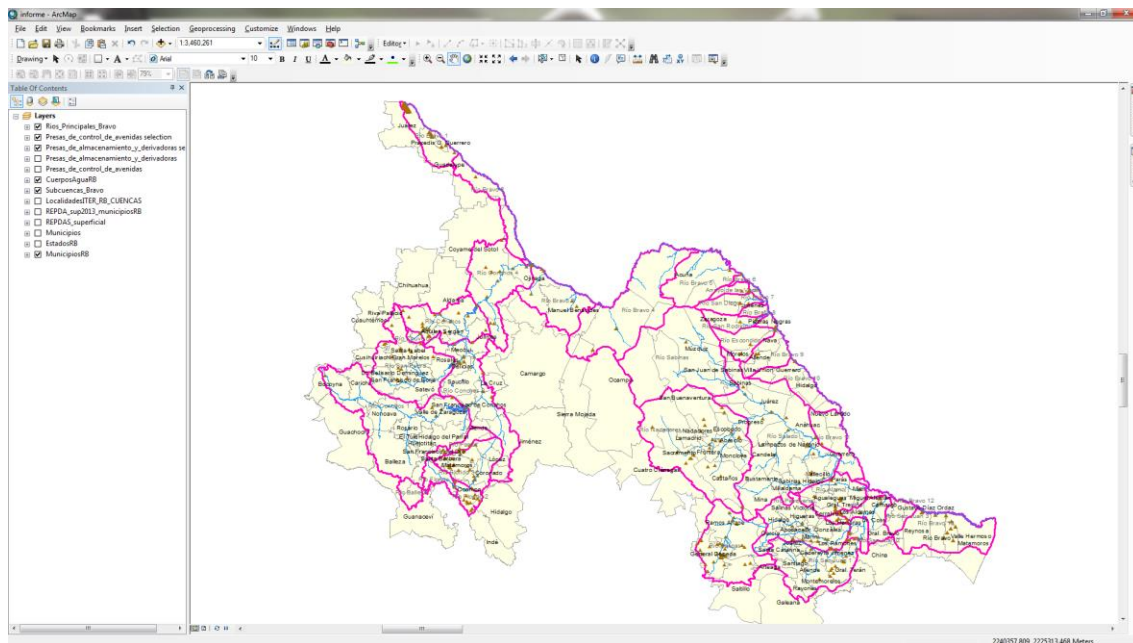


Figura 6.8.. Proyecto GIS, región hidrológica 24 Bravo-Conchos

6.1.6 Elaboración de scripts de programación

Utilizando el IDE PyScripter se desarrollaron scripts en lenguaje Python para diferentes funciones.

Para los procesos en los que se requirió la manipulación de cadenas se utilizaron las siguientes funciones que son propias del lenguaje:

Split. Elimina los espacios en blanco de una cadena.

Find. Encuentra una cadena en otra.

Upper. Convierte una cadena en mayúscula.

Contains. Valida si existe una cadena dentro de otra.

Replace. Reemplaza una cadena por otra.

Strip. Elimina espacios vacíos al inicio y final de una cadena

Para los procesos relacionados con el uso de herramientas de ArcGIS se utilizaron las siguientes funciones que forman parte de la librería ArcPy:

SearchCursor. Permite acceder a la información contenida en un archivo shape (filtrar y leer)

UpdateCursor. Permite acceder a la información contenida en un archivo shape, (filtrar, leer y actualizar)

GetParameterAsText. Obtiene un parámetro especificado al ejecutar una herramienta del ArcToos de ArcGIS.

GetArgumentCount. Obtiene la cantidad de parámetros recibidos desde una herramienta desde ArcGIS.

Para el funcionamiento de la herramienta se desarrollaron los siguientes scripts:

Función para extraer el estado

Esta función permite extraer de la capa de usos REPDA la clave del estado de la localidad que se está verificando, con el objeto de utilizarlo para filtrar la búsqueda en la capa de INEGI.

Función para extraer el municipio

Esta función permite extraer los municipios dependiendo del estado indicado, lo que permitirá hacer la búsqueda de acuerdo a la localidad que se está revisando de la capa de usos REPDA.

Función de comparación y filtros

Función que compara el nombre de las localidades contenidas en el shape de usos de agua del REPDA con las localidades del shape de localidades de INEGI, dicha comparación la realiza aplicando primero un filtro por estado y posteriormente por municipio a ambas capas.

Función de búsqueda de clave de localidad

Esta función recibe como parámetro el nombre de la localidad, municipio y estado y aplica un filtro a la capa de localidades de INEGI para seleccionar las localidades que pertenecen al municipio y estado indicado, posteriormente realiza la búsqueda, y obtiene la clave de la localidad en caso de que exista coincidencia.

Debido a que el nombre de las localidades no estaba estandarizado, se generaron algunas funciones para modificar la cadena de tal manera que permitiera hacerla comparable con el dato contenido en la capa de localidades de INEGI.

Función para identificar cadenas invertidas

Esta función valida si el nombre de la localidad está invertido, es decir, el artículo (EL, LA, LOS, LAS) se ubica al final de la cadena separado del nombre por una coma (LIMA, LA), en caso de que exista esta condición devuelve la cadena corregida (LA LIMA).

Función para eliminar información adicional

Esta función permite detectar palabras al inicio de la cadena (EJIDO, RANCHO, CD, CIUDAD, SECCIÓN, COLONIA, COL, ESTACIÓN) que en el listado de INEGI no tenga, pero que probablemente sólo tenga el nombre y regresa la cadena sin dichas palabras.

A continuación, se muestra un diagrama de flujo que muestra la interacción de las funciones presentadas anteriormente.

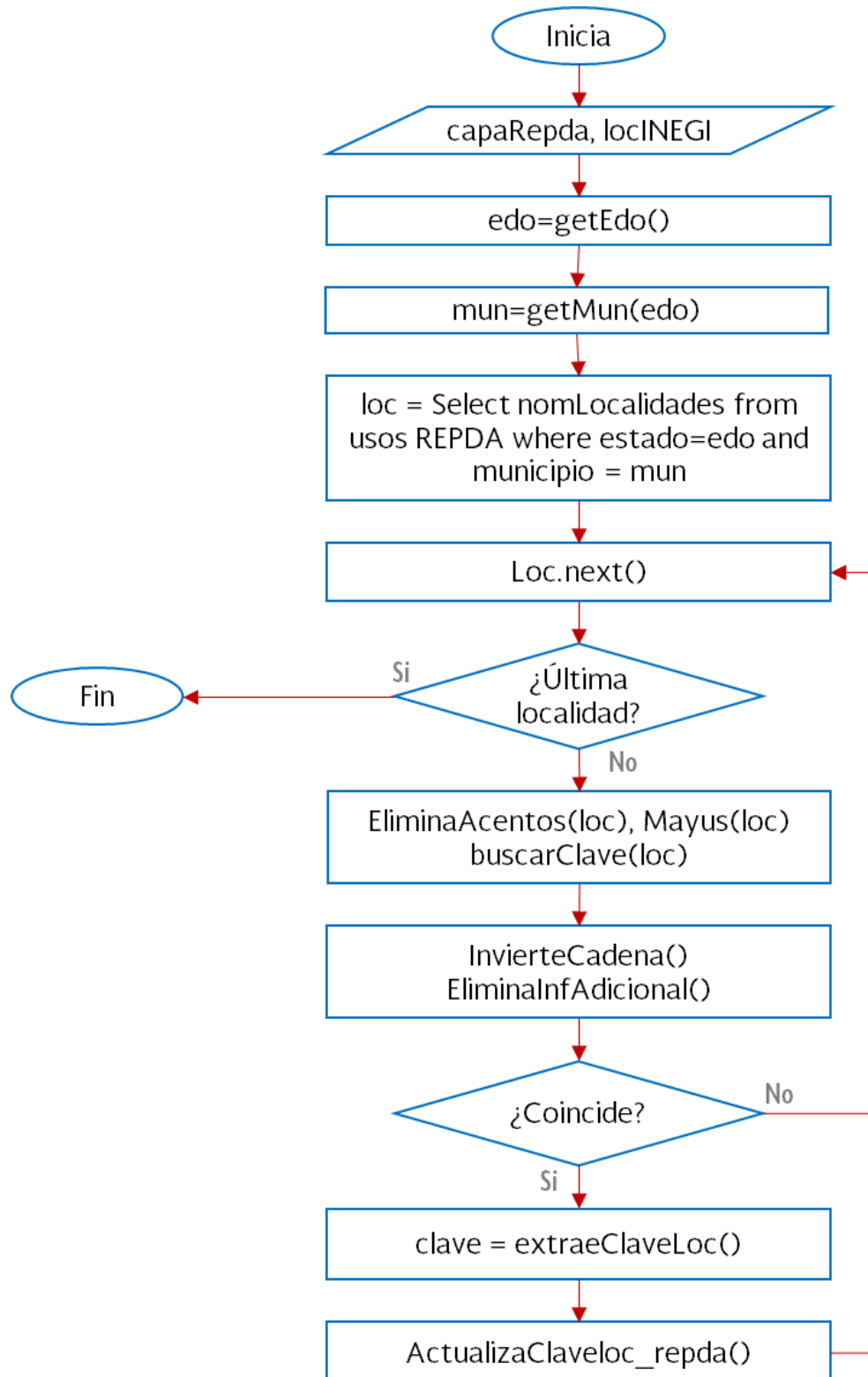


Figura 6.9. Diagrama de flujo para búsqueda de clave de localidad

6.1.7 Integración de la herramienta al proyecto GIS

Con los scripts generados e integrados, se procedió a generar la herramienta de depuración dentro del proyecto GIS, relacionándola al script principal y configurando los parámetros de entrada en la interfaz gráfica.

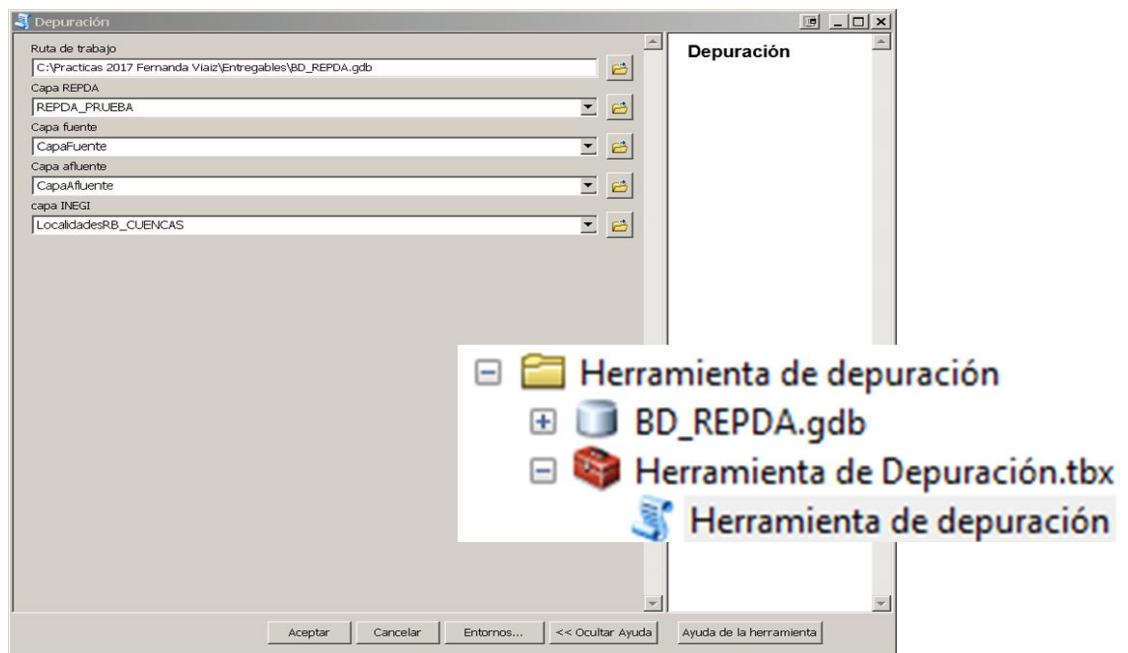


Figura 6.10. Herramientas GIS

6.1.8 RESULTADOS

Como resultado final se tiene una herramienta que permite identificar la cuenca correspondiente en la mayoría de los registros, dejándole al usuario los casos en los que no se cuenta con suficiente información para que el script pueda determinar su ubicación.

El primer filtro aplicado realiza una búsqueda exacta del nombre la localidad del registro con respecto a las localidades de INEGI, dando como resultado que de los 7072 registros 1475 coincidan.

El segundo filtro consideró eliminar los acentos de las palabras, e invertir el orden de las que tuvieran el artículo al final (Ej. Túnel, EL → EL TUNEL), con lo que se agregaron 655 registros.

El tercer filtro tiene relación con las abreviaturas o palabras comunes que podrían o no estar en el nombre de la localidad:

“CIUDAD” – “CD” – “CD.” – “CIUDAD DE”

“COLONIA” – “COL” – “COL.”

“EJIDO” – “RANCHO”

“SECCIÓN” – “SECC” – “SEC.”

Como resultado de la aplicación del filtro se le asignó cuenca a 121 registros más.

Cabe mencionar que una vez identificados los registros en donde el nombre de la localidad era exactamente igual, se procedió a aplicar una combinación de las demás posibilidades a los registros faltantes.

Finalmente, para continuar con la identificación, se incorporaron al análisis las capas de ríos, presas y cuerpos de agua, con el objeto de obtener la fuente y afluente de los registros que aún no contaban con clave de cuenca.

Para ello se extrajo de la capa REPDA el nombre de la fuente y se comparó con el nombre de las presas, cuerpos de agua, y ríos que se ubicaran en el municipio indicado, en caso de coincidir, se asignó el nombre de la cuenca correspondiente.

6.1.9 Conclusiones

Con la variedad de herramientas que existen en el mercado es posible agilizar los métodos de cálculo y combinar las técnicas informáticas y los Sistemas de Información Geográfica, para optimizar la obtención de datos que para este caso en particular están relacionados con los volúmenes de los usos de agua en la cuenca del Río Bravo.

Ninguna técnica ni herramienta es de gran utilidad si no se tiene información confiable, por lo que el responsable de recopilar y analizar la información deberá conocer la veracidad de la información.

Con el apoyo de los sistemas de información geográfica es posible verificar cada uno de los datos que se mencionan en el REPDA, logrando que la base de datos sea lo más confiable posible.

7. ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA

7.1 EVALUACIÓN HISTÓRICA DE LA CALIDAD DEL AGUA

La CONAGUA como institución responsable de la administración y manejo de las aguas nacionales, mantiene una red de monitoreo de calidad del agua en ríos, lagos, acuíferos y zonas costeras, con el objetivo principal de generar información representativa y confiable de la calidad del agua de una manera costo-efectiva. La Red Nacional de Monitoreo (RNM), tuvo una reestructuración, y a partir de 2012 maneja un nuevo esquema de estaciones y parámetros. De esta manera se tuvo acceso a través de la Gerencia de Calidad del Agua de CONAGUA la información más reciente y confiable que abarca resultados de 2012 hasta el julio de 2017, de las estaciones de monitoreo que tiene establecidas en el cauce principal del río Bravo.

En cada una de las estaciones de monitoreo de aguas superficiales, principalmente ríos, la CONAGUA tiene una frecuencia de muestreo bimensual, de tal forma que cada año se cuenta con seis resultados de todos los parámetros que analiza para cada estaciones de muestreo.

7.2 ESTACIONES DE MONITOREO

En el cauce principal del río Bravo que tiene una distancia aproximada desde Ciudad Juárez hasta la desembocadura de 2 052 km, la RNM tiene establecidas 34 estaciones distribuidas de la siguiente manera; 29 en el río Bravo; y en las presas se analizaron la entrada y cortina de las dos presas (La Amistad y Falcón), es decir dos en la presa internacional La Amistad y dos en la presa internacional Falcón; y una en la desembocadura al Golfo de México. En La Tabla 1 se muestra la descripción de los sitios de la red, y en las Figura 7.1. Estaciones de monitoreo de la RNM de Ciudad Juárez a la desembocadura al Golfo de México. La ubicación de los mismos. La distribución de las estaciones de monitoreo permitió realizar una zonificación, estableciendo tres tramo que corresponden a estaciones de monitoreo y Estado del país. Así tenemos que las claves corresponden al Estado, por ejemplo CHI, se refiere a Chihuahua, COA a Coahuila, y la clave RBR, río Bravo se ubican principalmente en el Estado de Tamaulipas.

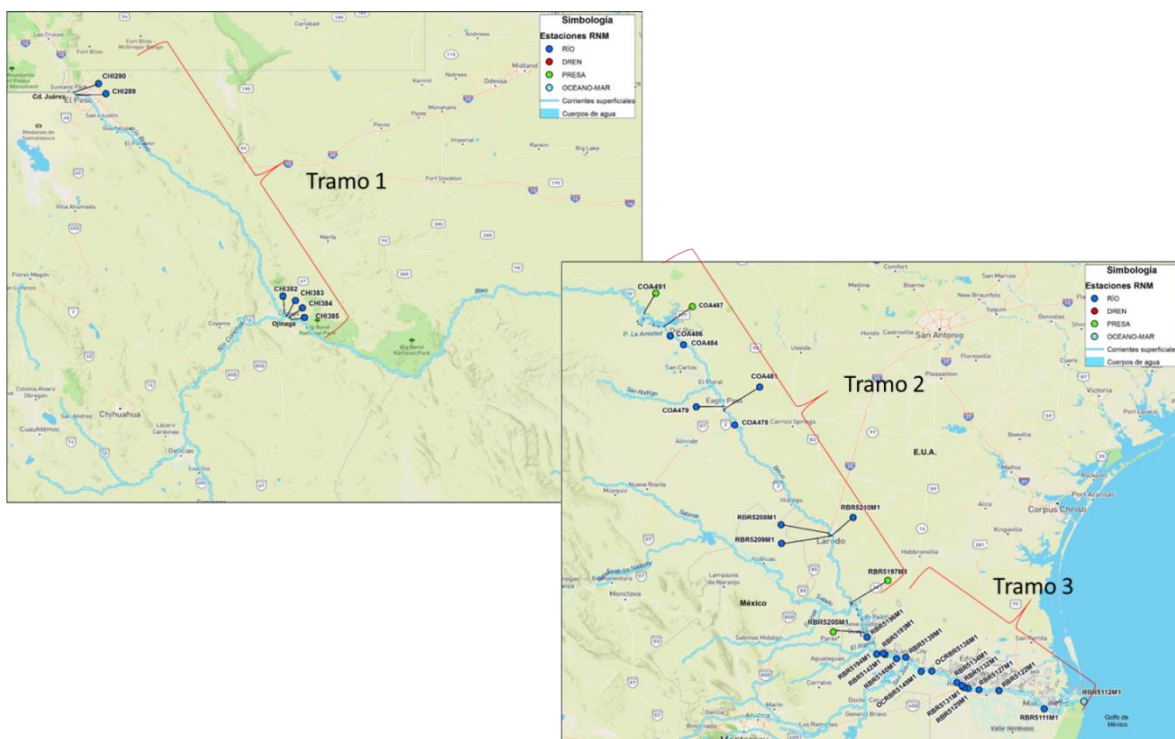


Figura 7.1. Estaciones de monitoreo de la RNM de Ciudad Juárez a la desembocadura al Golfo de México.

7.3 METODOLOGÍA DE ANÁLISIS

Los resultados de la Base de Datos proporcionada por la CONAGUA, se analizaron para obtener las estadísticas descriptivas para cada parámetro fisicoquímico y aplicar el análisis de conglomerados o cluster y el análisis de componentes principales.

En el manejo de la base de datos se observaron valores cuantitativos, valores “menores que” al Límite de Detección del Método (<LDM), así como celdas vacías. Estos datos que faltan hacen difícil resumir y comparar conjuntos de datos y puede conducir a estimaciones sesgadas de las medias, las variaciones, las tendencias y otras poblaciones de parámetros.

Además, algunas pruebas estadísticas no se pueden computar, o dan resultados engañosos como lo describe Gilbert, 1987. El mismo autor recomienda usar todas las mediciones, incluyendo los valores <LDM, se pueden utilizar para el manejo de los datos. Se utilizaron los valores <LDM cuando la cantidad de datos no fuera mayor del 20% de las mediciones.

En el caso de que no exista dato (celda vacía), y no sea de más del 20%, se realizó con el programa estadístico XLSTAT V.2, el análisis de datos perdidos a través de imputaciones múltiples.

El programa XLSTAT propone un algoritmo de imputación múltiple basado en el método de Cadenas de Markov Monte Carlo (MCMC) también llamado especificación completamente condicional (Van Buulen, 2007).

El algoritmo funciona de la siguiente manera:

Los valores iniciales, y los valores faltantes se obtienen a partir de una distribución normal con una media y error estándar igual a la media y error estándar obtenidos sobre los datos disponibles.

Para cada variable del conjunto de datos con valores faltantes, se aplica un método de imputación basado en muestreo y regresión. El modelo utilizado es un modelo de regresión con la variable estudiada como variable dependiente y todas las demás variables como variables independientes. Estos pasos se repiten hasta que se alcanza el número de imputación. Se toma el valor medio de cada valor perdido imputado para que la base de datos no tenga celdas vacías y se realicen los análisis estadísticos correspondientes en cada estación de monitoreo.

Tabla 7.1. Estaciones de monitoreo de calidad del agua de la RNM en tramo desde Ciudad Juárez hasta la desembocadura con el golfo de México.

Cuerpo de agua	Clave	Nombre	Estado	Municipio	Longitud	Latitud
Rio Bravo	CHI290	Rio Bravo 19	Chihuahua	Juárez	-106.5287	31.7817
Rio Bravo	CHI289	Km 0+000, Puente Internacional Ciudad Juárez	Chihuahua	Juárez	-106.5099	31.7607
Rio Bravo	CHI382	Rio Bravo 16	Chihuahua	Ojinaga	-104.4347	29.5811
Rio Bravo	CHI383	Rio Bravo 17	Chihuahua	Ojinaga	-104.4315	29.5820
Rio Bravo	CHI384	Puente Presidio-Ojinaga	Chihuahua	Ojinaga	-104.3950	29.5562
Rio Bravo	CHI385	Rio Bravo 18	Chihuahua	Ojinaga	-104.3777	29.5422
Rio Bravo	COA486	Parque Industrial Acuña	Coahuila de Zaragoza	Acuña	-101.0044	29.3645
Rio Bravo	COA484	Rio Bravo Poblado Balcones	Coahuila de Zaragoza	Cd Acuña	-100.8795	29.2812
Rio Bravo	COA481	Puente Internacional Piedras Negras	Coahuila de Zaragoza	Piedras Negras	-100.5111	28.7092
Rio Bravo	COA479	Rio Bravo 11	Coahuila de Zaragoza	Piedras Negras	-100.5055	28.6751
Rio Bravo	COA478	Toma De Agua De CFE	Coahuila de Zaragoza	Guerrero	-100.4024	28.5323
Rio Bravo	RBR5210M1	Rio Bravo 8 (Paso De Los Indios)	Tamaulipas	Nuevo Laredo	-99.5257	27.5170
Rio Bravo	RBR5209M1	Rio Bravo Frente A Comapa	Tamaulipas	Nuevo Laredo	-99.5222	27.4963
Rio Bravo	RBR5208M1	Puente Internacional I Nuevo Laredo	Tamaulipas	Nuevo Laredo	-99.5073	27.4990
Rio Bravo	RBR5196M1	100 M Aguas Abajo de la Presa Falcón	Tamaulipas	Guerrero	-99.1701	26.5545
Rio Bravo	RBR5194M1	Río Bravo Comunidad Los Guerra	Tamaulipas	Miguel Alemán	-99.0798	26.3968
Rio Bravo	RBR5193M1	Puente Internacional Miguel Alemán	Tamaulipas	Miguel Alemán	-99.0194	26.4035
Rio Bravo	RBR5142M1	Rio Bravo 6 (Frente al Poblado Los Ángeles)	Tamaulipas	Miguel Alemán	-99.0019	26.3926
Rio Bravo	RBR5140M1	Rio Bravo (Aguas Abajo Dren Rancherías)	Tamaulipas	Camargo	-98.8950	26.3536
Rio Bravo	RBR5139M1	Puente Internacional Camargo	Tamaulipas	Camargo	-98.8081	26.3670
Rio Bravo	RBR5149M1	Río Bravo Aguas Abajo Congregación Valadesez	Tamaulipas	Camargo	-98.6642	26.2350

Cuerpo de agua	Clave	Nombre	Estado	Municipio	Longitud	Latitud
Rio Bravo	RBR5136M1	Rio Bravo 4 (Al Noreste de Gustavo Díaz Ordaz)	Tamaulipas	Gustavo Díaz Ordaz	-98.5655	26.2393
Rio Bravo	RBR5134M1	Rio Bravo 3	Tamaulipas	Reynosa	-98.3315	26.1313
Rio Bravo	RBR5132M1	Rio Bravo Aguas Arriba Puente Internacional Reynosa	Tamaulipas	Reynosa	-98.2863	26.1024
Rio Bravo	RBR5131M1	Aguas Abajo del Puente Internacional Reynosa	Tamaulipas	Reynosa	-98.2649	26.0854
Rio Bravo	RBR5129M1	Rio Bravo 2	Tamaulipas	Reynosa	-98.2275	26.0770
Rio Bravo	RBR5127M1	Rio Bravo 1	Tamaulipas	Rio Bravo	-98.1256	26.0616
Rio Bravo	RBR5122M1	Aguas Abajo de Puente Internacional Nuevo Progreso	Tamaulipas	Rio Bravo	-97.9394	26.0548
Rio Bravo	RBR5111M1	Puente Internacional Viejo Matamoros.	Tamaulipas	Matamoros	-97.5186	25.8857
Desembocadura Rio Bravo	RBR5112M1	Desembocadura Rio Bravo	Tamaulipas	Matamoros	-97.1473	25.9554
Internacional La Amistad	COA491	Presa Internacional La Amistad 6	Coahuila De Zaragoza	Acuña	-101.2474	29.5734
Internacional La Amistad	COA487	Cortina Presa La Amistad	Coahuila De Zaragoza	Acuña	-101.0633	29.4522
Presa Internacional Falcón	RBR5197M1	Presa Internacional Falcón 1	Tamaulipas	Guerrero	-99.3192	26.8704
Presa Internacional Falcón	RBR5205M1	Presa Internacional Falcón 9	Tamaulipas	Guerrero	-99.1903	26.5687

7.3.1 Información de calidad del agua histórica

En el Anexo 1 se presentan los datos de calidad de agua para las 34 estaciones y para los diferentes parámetros que reporta la RNM de 2012 a 2017.

En las Figuras 5.2 a la 5.18 se dan las estadísticas de diagramas de caja, las cuales tienen como finalidad el presentar a través de cuartiles y medianas, la distribución de un conjunto de datos, y en este caso se refieren a las concentraciones de cada parámetro reportado por la RNM, desde 2012 a 2017. Se reportan los parámetros que se señalan en los indicadores de calidad del agua de la CONAGUA (DBO, DQO, SST, Coliformes Fecales y *Escherichia coli*) (Tabla 5.2), y los que se enlistan en los criterios ecológicos CE-CCA-001/86 (CONAGUA, 2017).

Tabla 2. Indicadores de calidad del agua

Indicador de calidad del agua Conagua	Excelente	Buena calidad	Aceptable	Contaminada	Fuertemente contaminada
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) mg/L	≤3	> 3 - ≤ 6	> 6 - ≤ 30	> 30 - ≤ 120	> 120
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	≤ 10	> 10 - ≤ 20	> 20 - ≤ 40	> 40 - ≤ 200	> 200
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	≤25	> 25 - ≤ 75	> 75 - ≤ 150	> 150 - ≤ 400	> 400
Coliformes fecales NMP/100mL	≤ 100	>100 - ≤200	>200 - ≤1000	>1000 - ≤10000	≥ 10000
<i>Escherichia coli</i> NMP/100mL	≤ 250	>250 - ≤ 500	>500 - ≤1000	>1000 - ≤10000	≥ 10000

En las figuras que se muestran a continuación se incluyen en el eje X, y en un recuadro con número las plantas de tratamiento que descargan directa o indirectamente al cauce principal del río Bravo y que pueden afectar la calidad del agua del río Bravo. En la Tabla 3 se muestra una clave de identificación de cada planta, el nombre de las plantas y el caudal de diseño y tratado.

Tabla 7.2 Plantas de Tratamiento en el río Bravo

Tramo	Id	Nombre Planta de Tratamiento de Aguas Residuales	Capacidad Instalada L/s	Caudal tratado L/s
Cd. Juárez – La Amistad	1	Anapra	62.0	22.5
	2	Sur	2,000.0	1,620.0
	3	Norte	1,600.0	1,350.0
	4	El Chamizal	50.0	50.0
	5	U.A.C.J. Campus Juárez	1.0	1.0
	6	Planta Laguna de Patos	25.0	24.5
	7	Planta Sur	500.0	300.0
	8	El Millón, Jesús Carranza, Tres Jacales y San Agustín	11.2	0.2
	9	Porfirio Parra, Barreales y Juárez y Reforma	14.3	7.0
	10	Guadalupe	18.0	9.0
	11	Praxedis G. Guerrero	14.7	11.0
	12	El Porvenir	15.2	6.0
	13	Ojinaga	109.0	70.0
La Amistad - Falcón	14	Ciudad Acuña	500.0	482.0
	15	Piedras Negras	720.0	789.0
	16	Colombia	10.0	2.2
	17	Nuevo Laredo	1,360.0	900.0
	18	Valles de Anáhuac	33.0	27.0
	19	Parque Industrial Oradel	9.0	4.0
	20	Norponiente	200.0	60.0
Falcón - Desembocadura	21	Zona Este	20.0	10.0
	22	Miguel Alemán	75.0	40.0
	23	Los Ángeles	5.0	2.0
	24	Camargo	30.0	20.0
	25	Gustavo Díaz Ordaz	21.0	10.0
	26	Reynosa I	1,000.0	850.0
	27	Reynosa II	750.0	250.0
	28	Río Bravo-Nuevo Progreso	240.0	81.0
	29	Nuevo Progreso	16.0	12.0
	30	Oriente	435.0	325.0

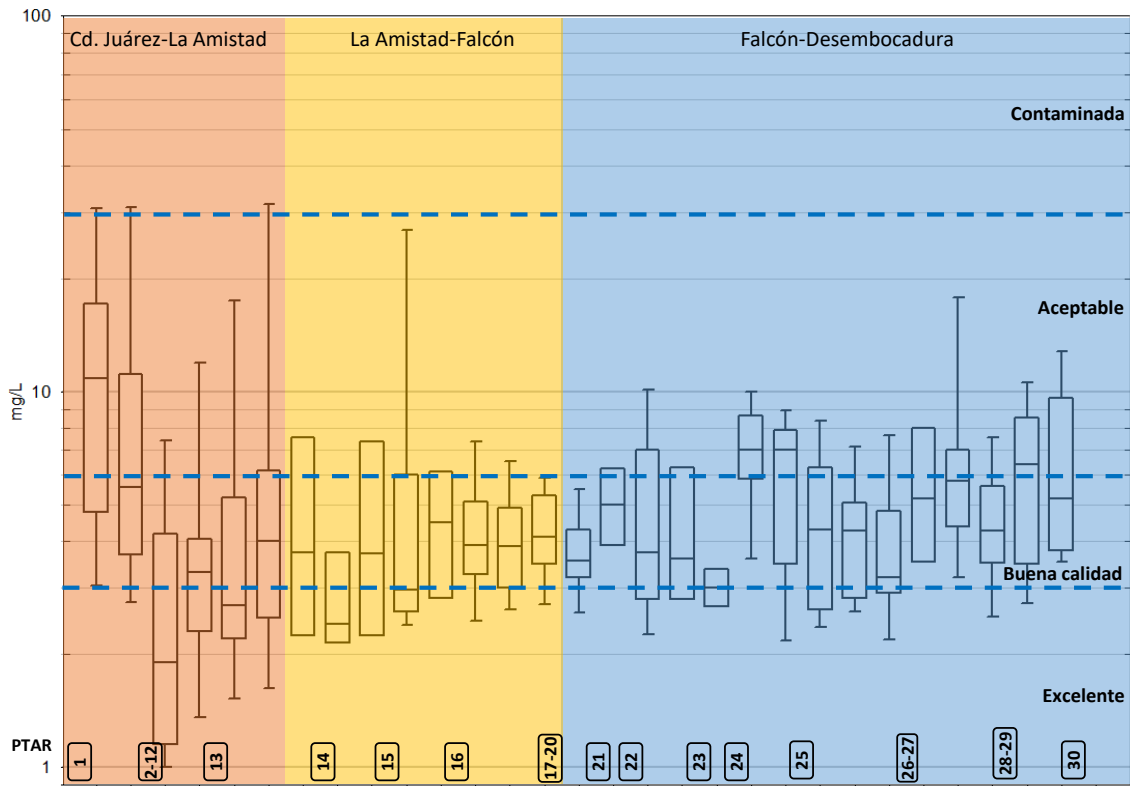


Figura 7.2. Demanda Bioquímica de Oxígeno por tramo y el indicador de calidad

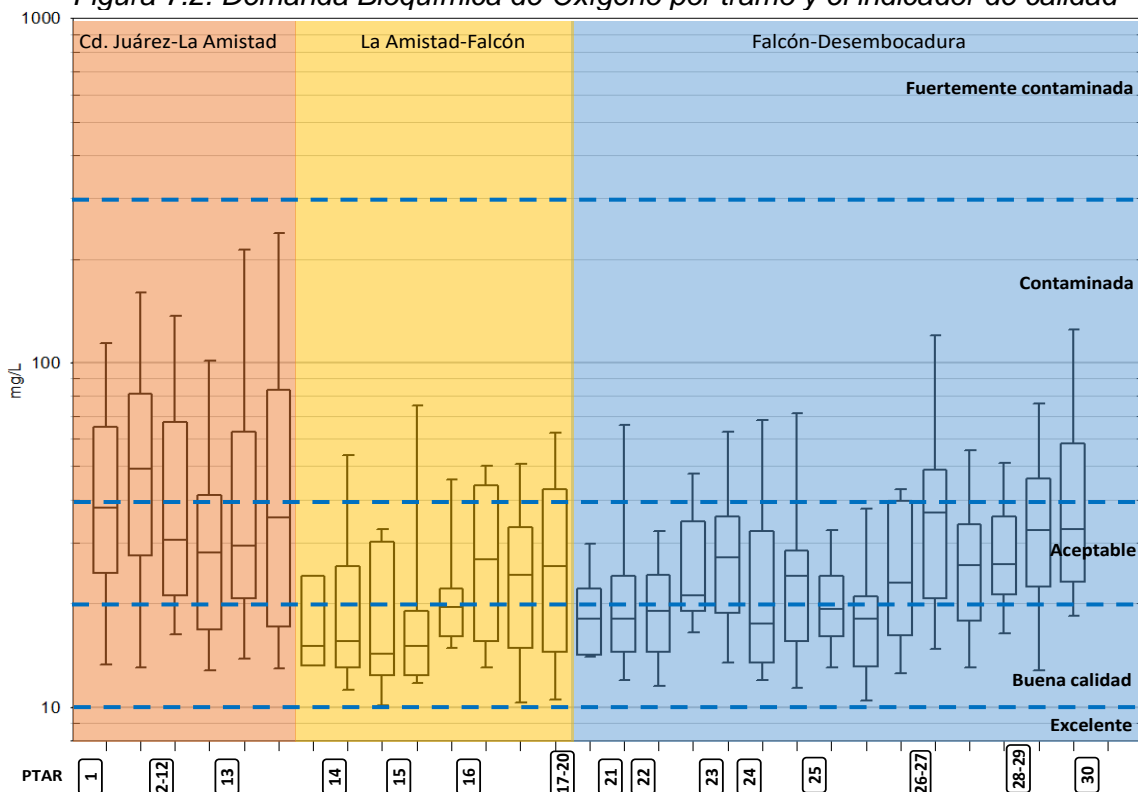


Figura 7.3. Demanda Química de Oxígeno por tramo y el indicador de calidad

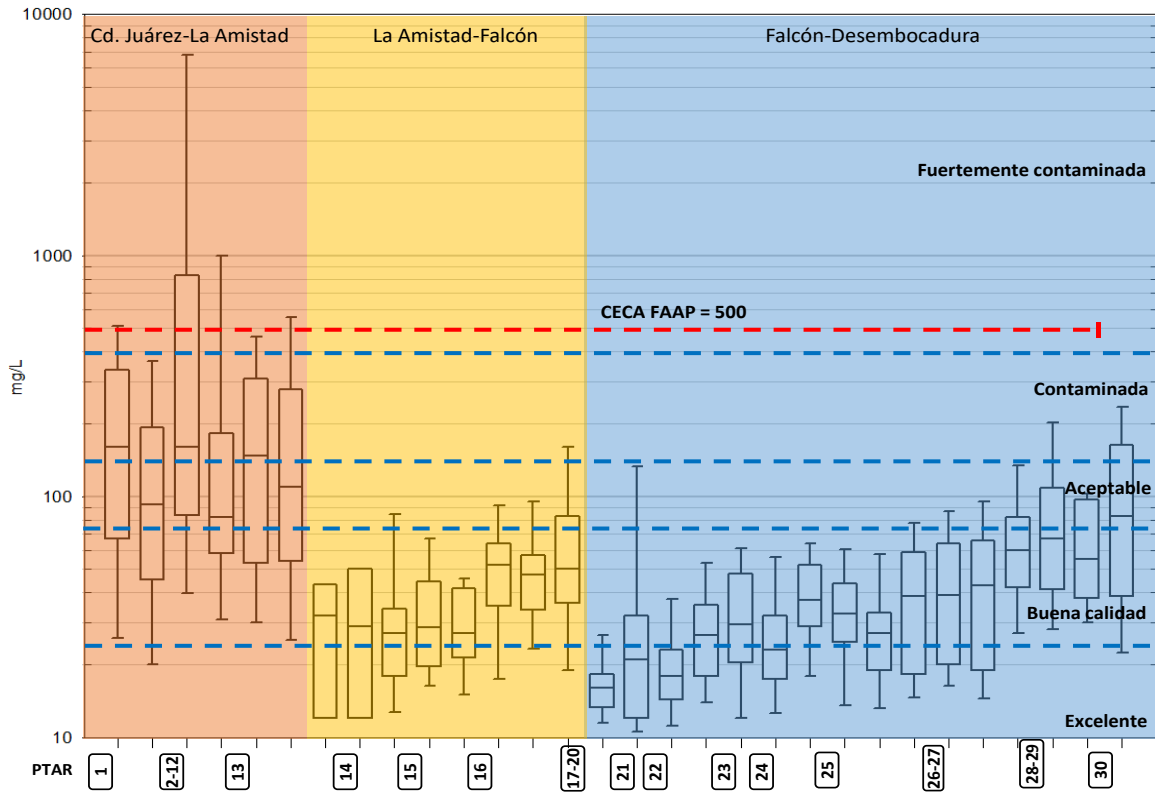


Figura 7.4. Sólidos Suspensos Totales por tramo y el indicador de calidad

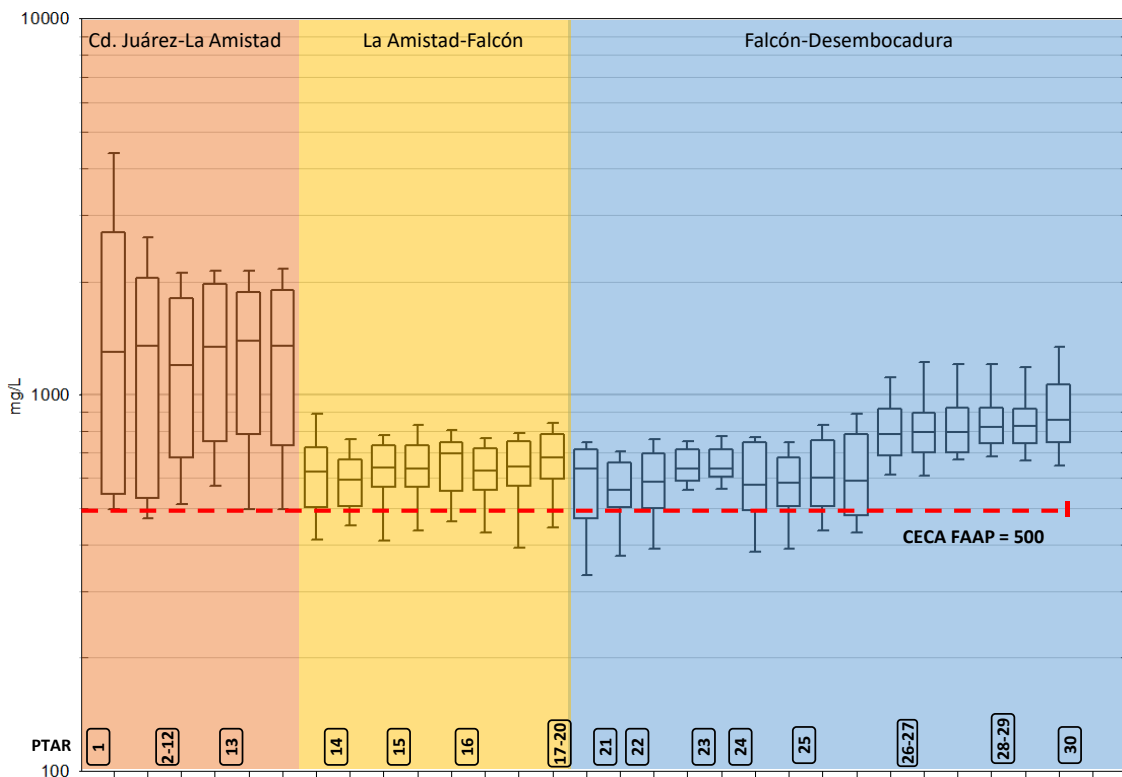


Figura 7.5. Sólidos Disueltos Totales por tramo y el criterio para el uso como fuente de abastecimiento de agua potable (FAAP).

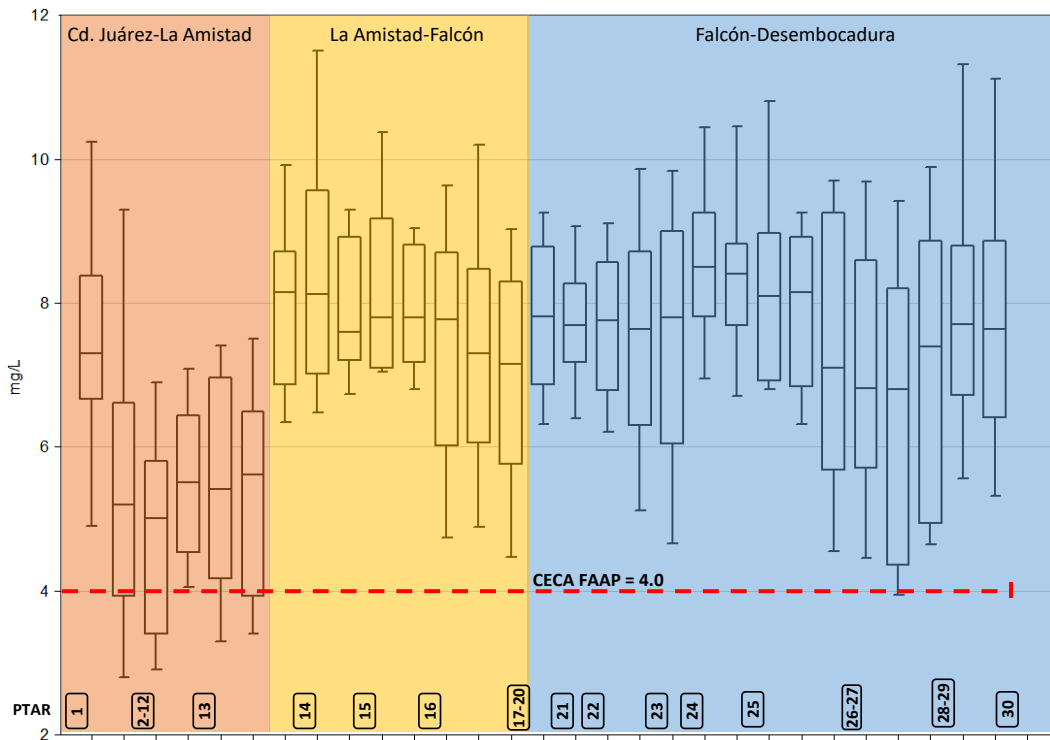


Figura 7.6. Oxígeno Disuelto por tramo y el criterio para el uso como fuente de abastecimiento de agua potable (FAAP).

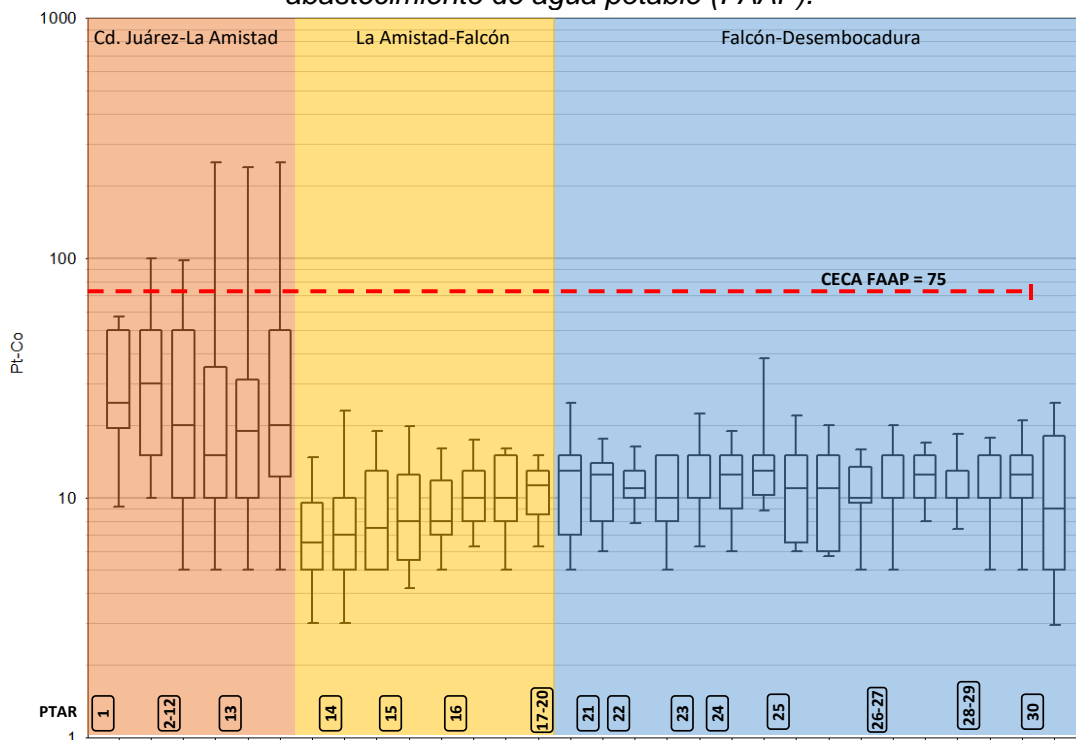


Figura 7.7. Color por tramo y el criterio para el uso como fuente de abastecimiento de agua potable (FAAP).

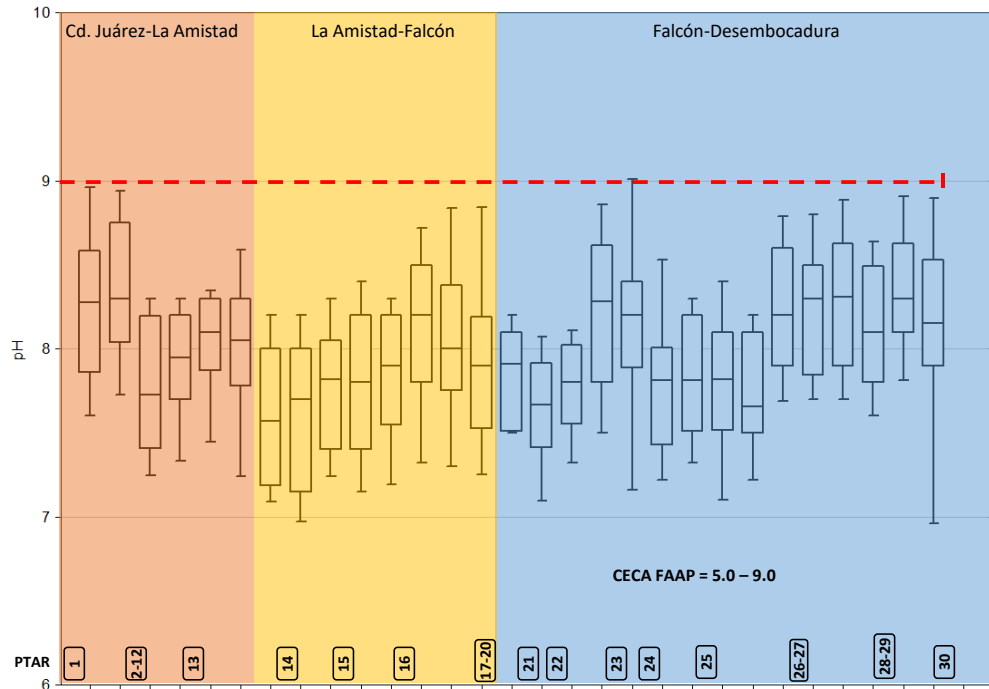


Figura 7.8. Potencial de Hidrógeno por tramo y criterio para el uso como fuente de abastecimiento de agua potable (FAAP).

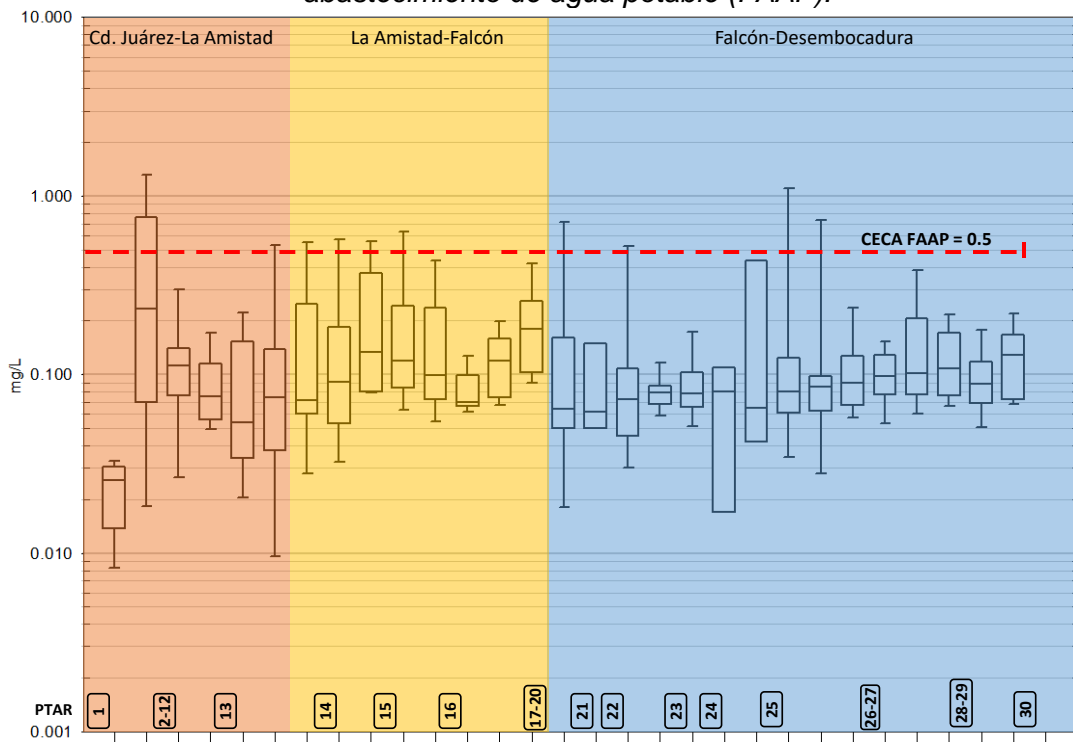


Figura 7.9. Sustancias Activas al Azul de Metileno por tramo y criterio para el uso como fuente de abastecimiento de agua potable (FAAP).

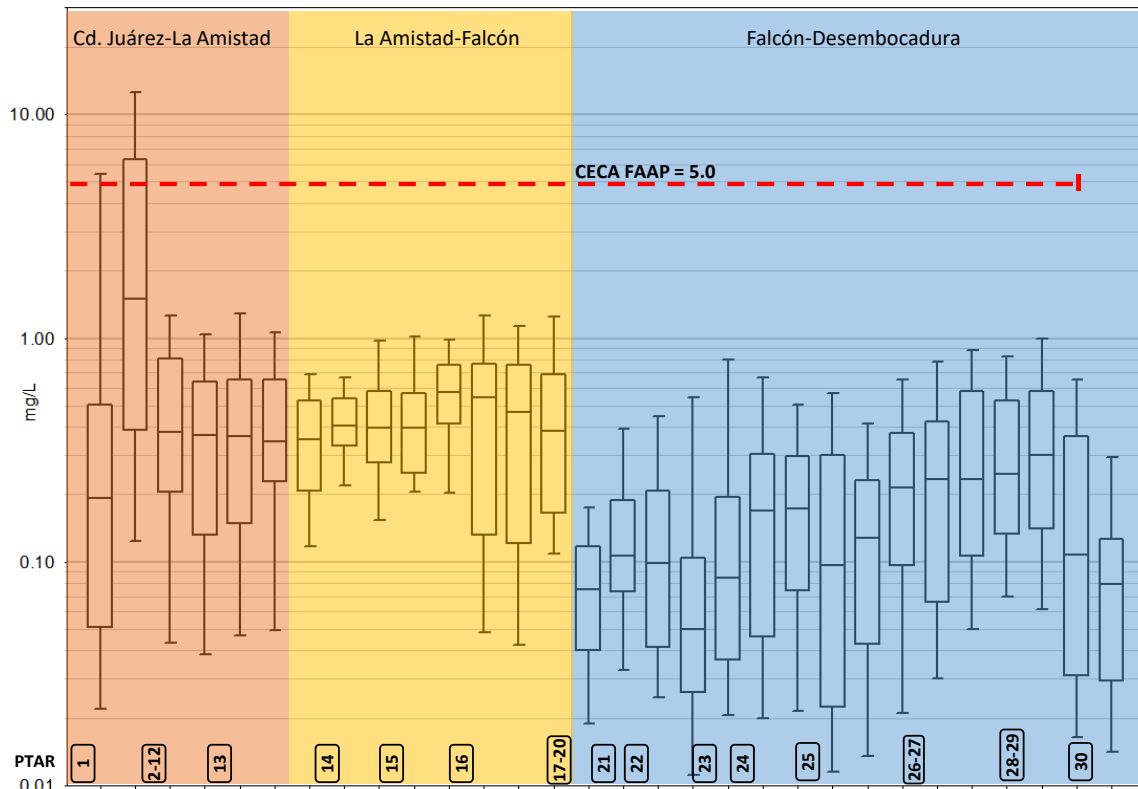


Figura 7.10. Nitratos por tramo y criterio para el uso como fuente de abastecimiento de agua potable (FAAP).

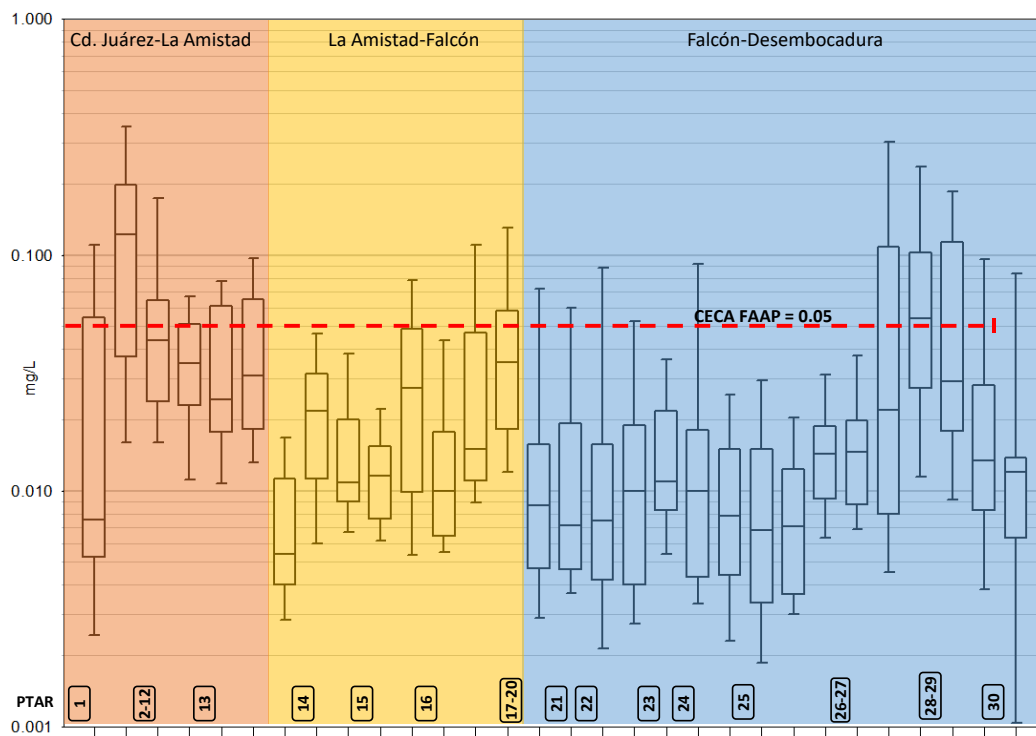


Figura 7.11. Nitritos por tramo y criterio para el uso como fuente de abastecimiento de agua potable (FAAP).

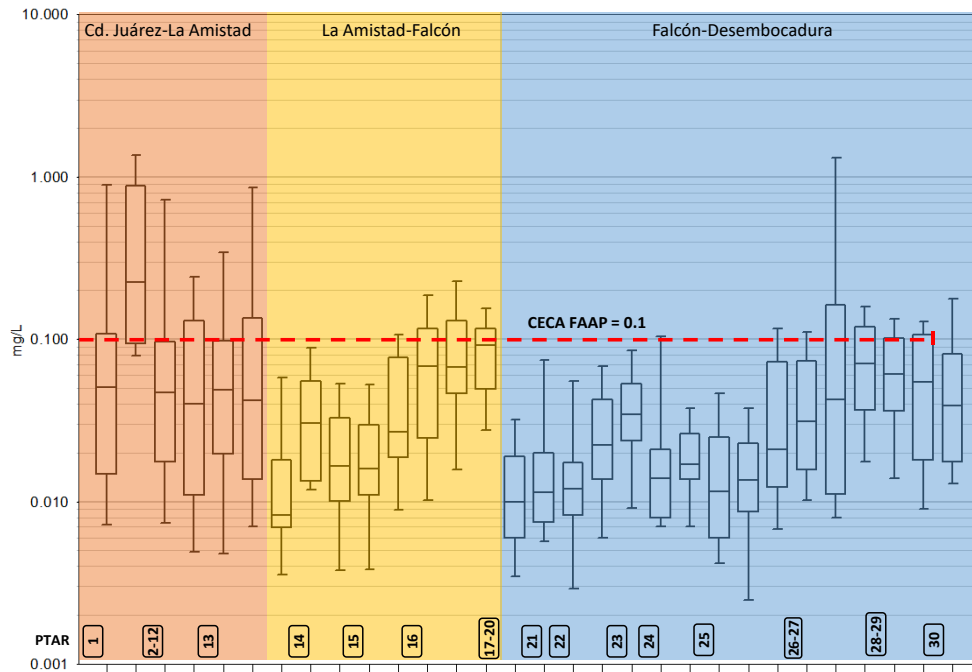


Figura 7.12. Ortofosfatos por tramo y criterio para el uso como fuente de abastecimiento de agua potable (FAAP).

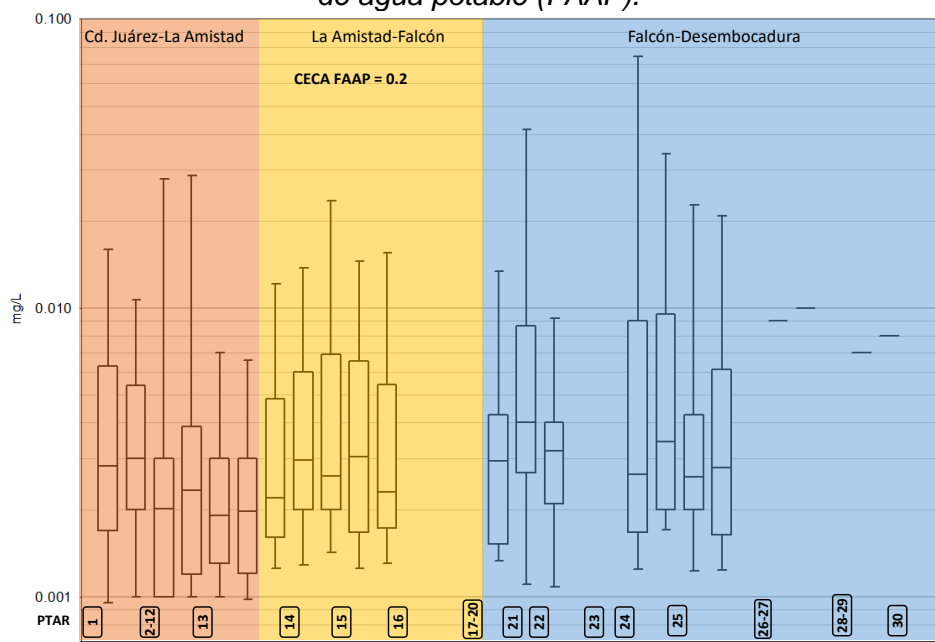


Figura 7.13. Cianuros por tramo

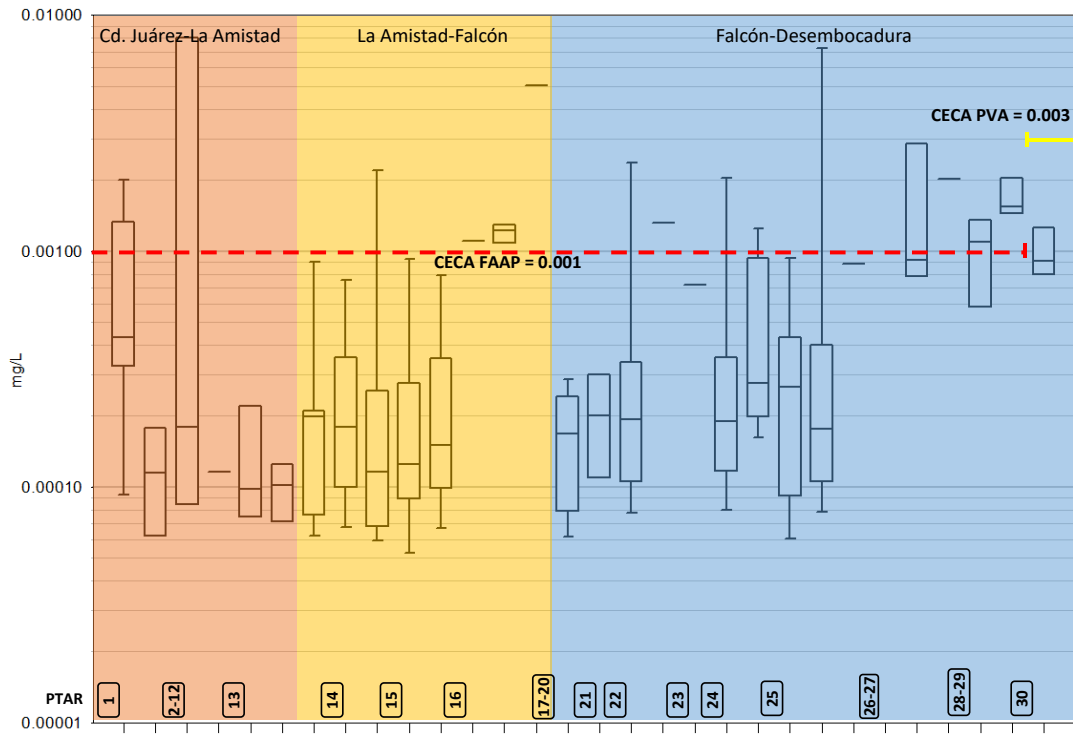


Figura 7.14. Mercurio por tramo, criterio FAAP y PVA (Protección de vida acuática)

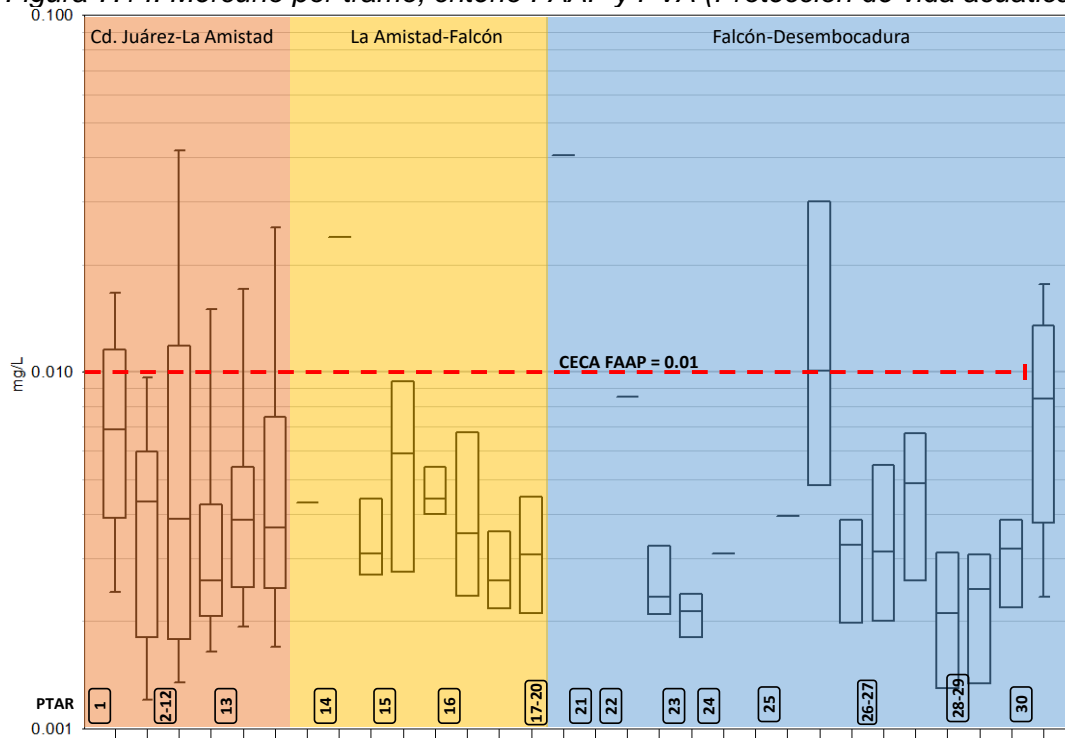


Figura 7.15. Níquel por tramo, criterio FAAP

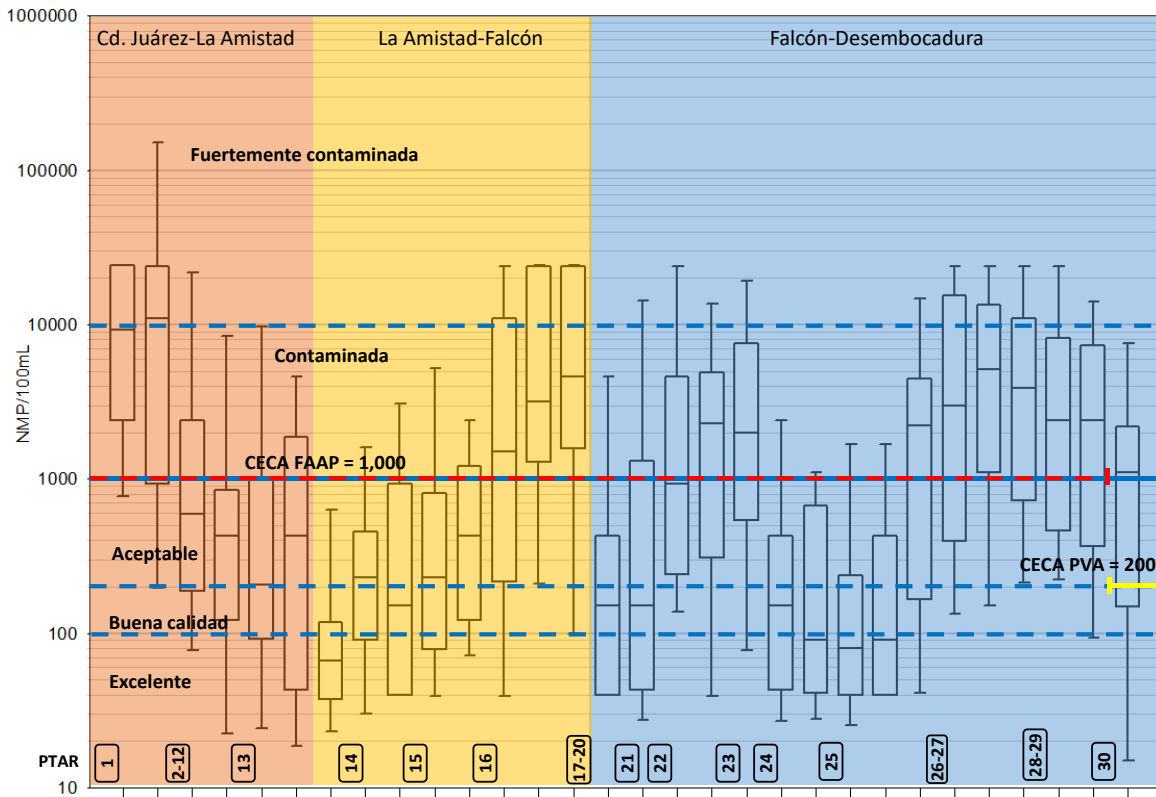


Figura 7.16. Coliformes fecales por tramo, indicador de calidad, y criterios FAAP y PVA

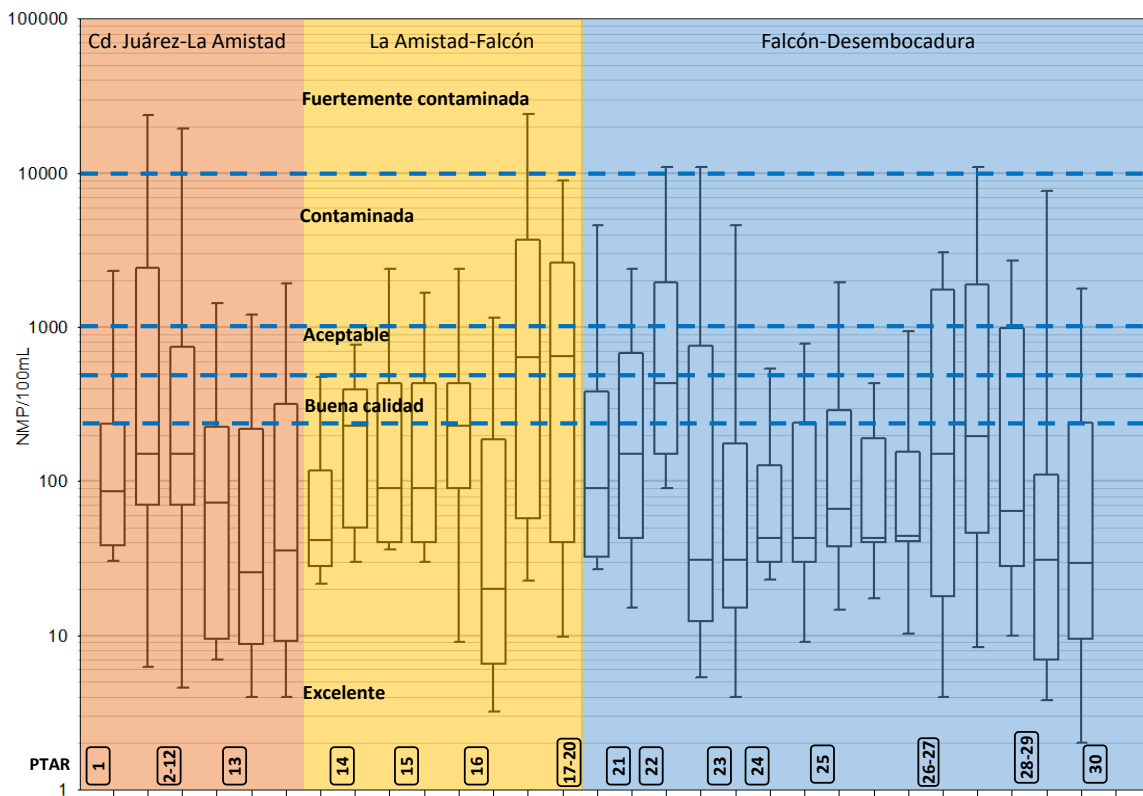


Figura 7.17. Escherichia Coli por tramo, indicador de calidad del agua.

7.3.2 Resultados de cargas

Con los datos de caudal reportados por los laboratorios y las concentraciones se determinaron las cargas, expresadas en toneladas por día, para los parámetros listados en la guía de calidad del agua de CONAGUA, y en los criterios ecológicos de calidad del agua CE-CCA-01/89. En la Figura 5.18 a la Figura 5.31 se ilustran las cargas para los parámetros seleccionados.

En el Anexo 2 se encuentra en forma tabular, los resultados de cargas para todos los parámetros que reporta la Red Nacional de Monitoreo.

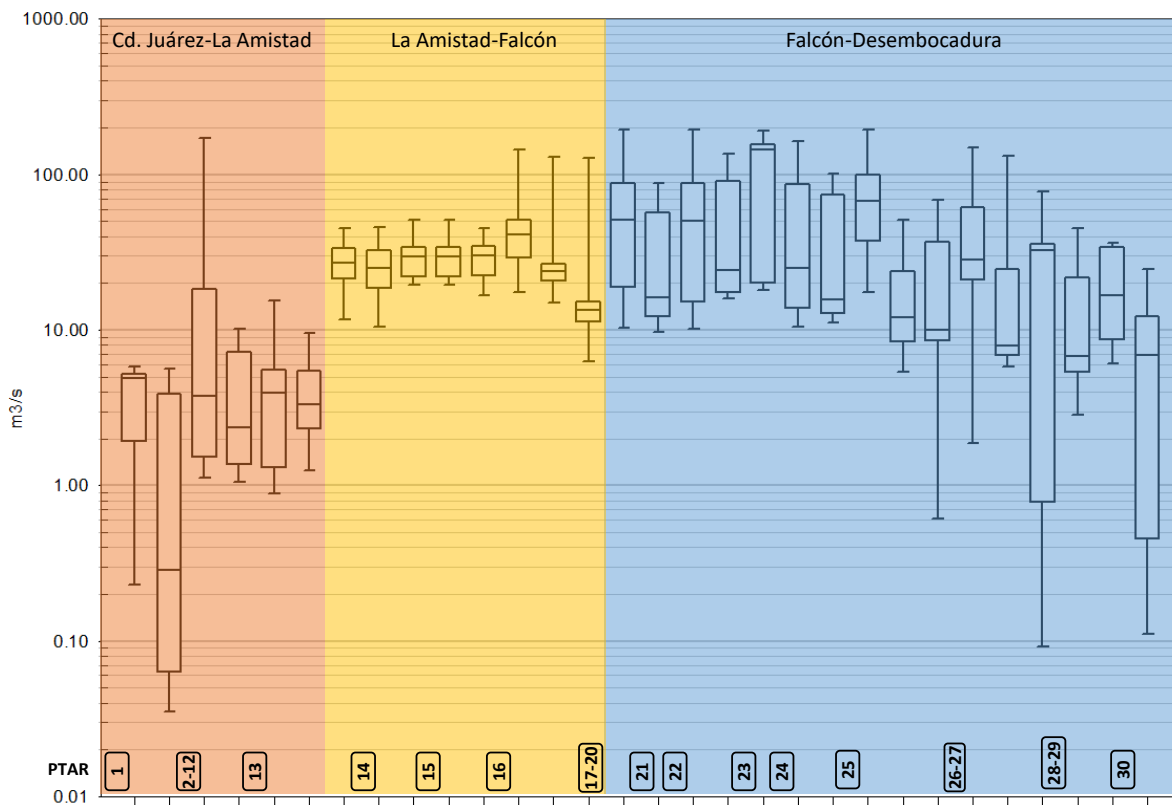


Figura 7.18. Caudal por tramo

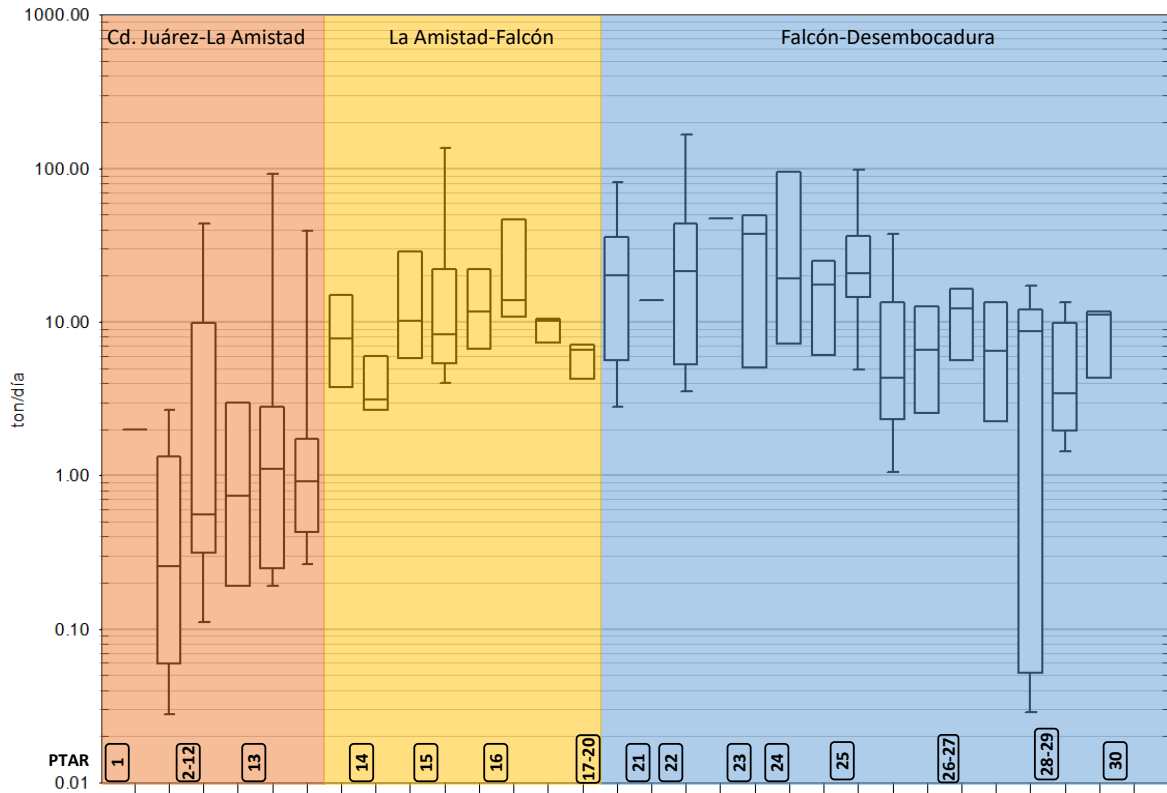


Figura 7.19. Demanda Bioquímica de Oxígeno

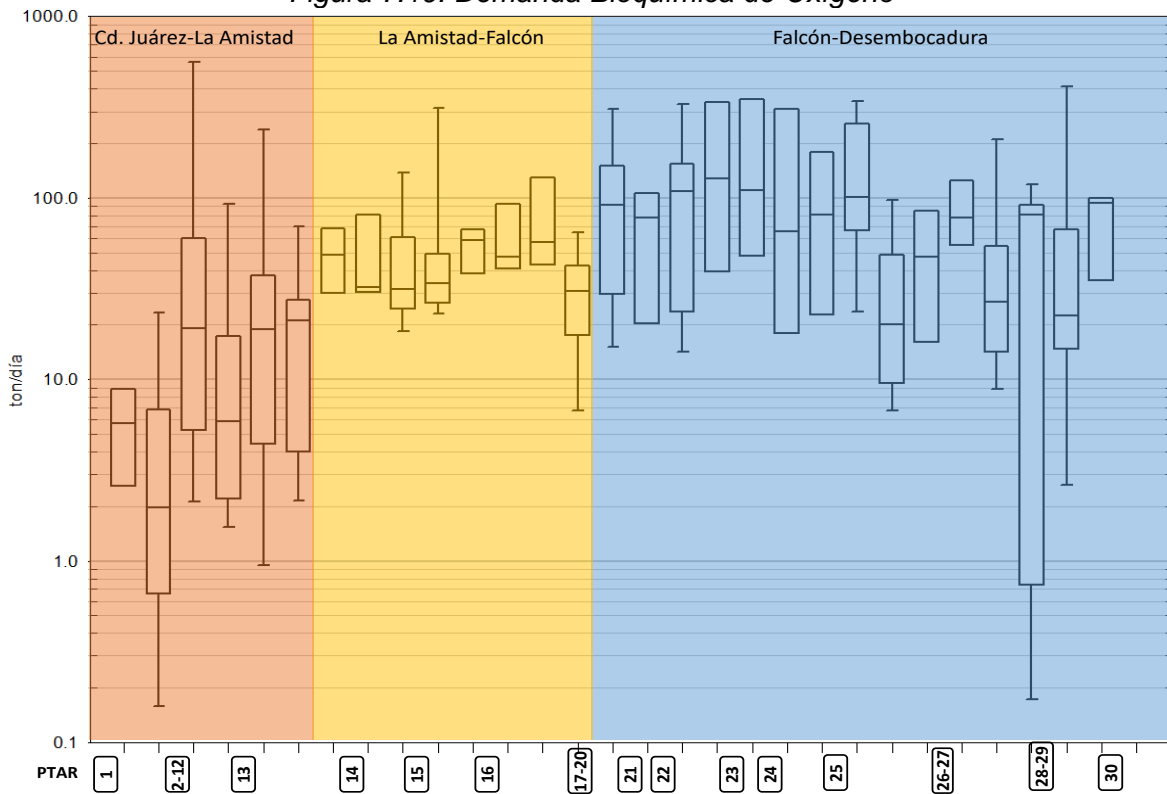


Figura 7.20. Demanda Química de Oxígeno

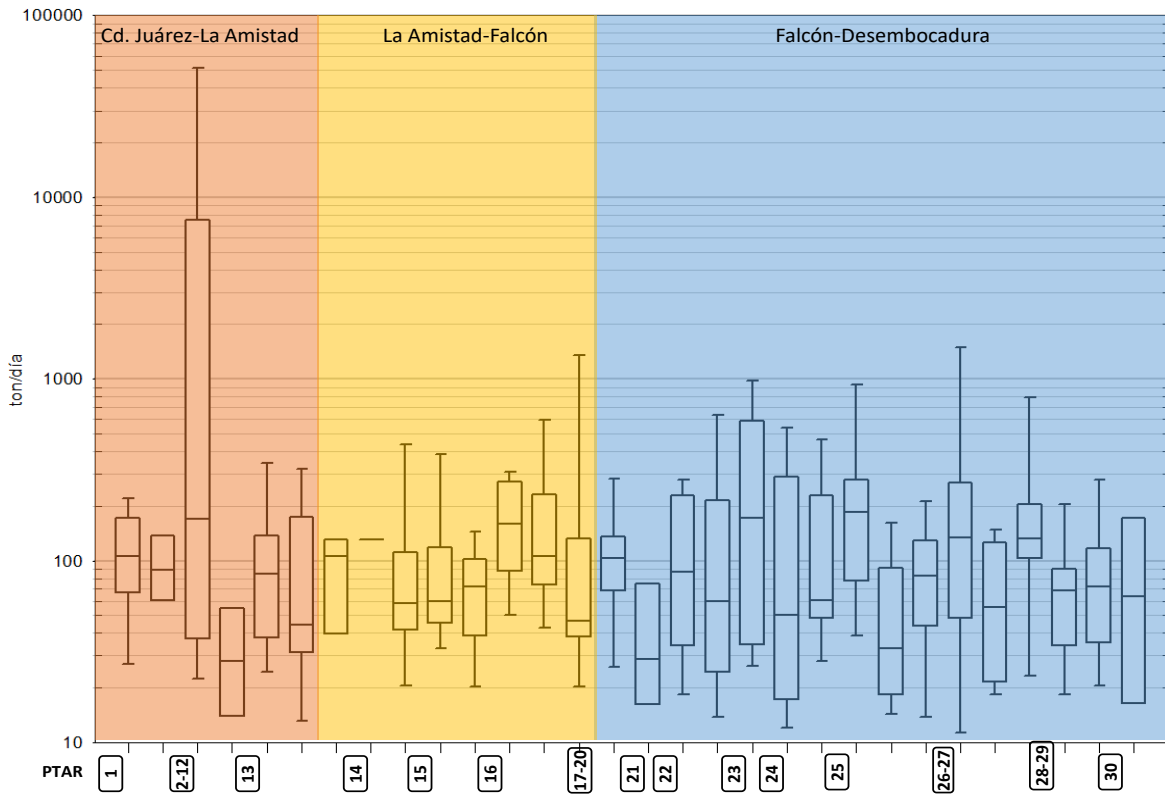


Figura 7.21. Sólidos Suspensos Totales

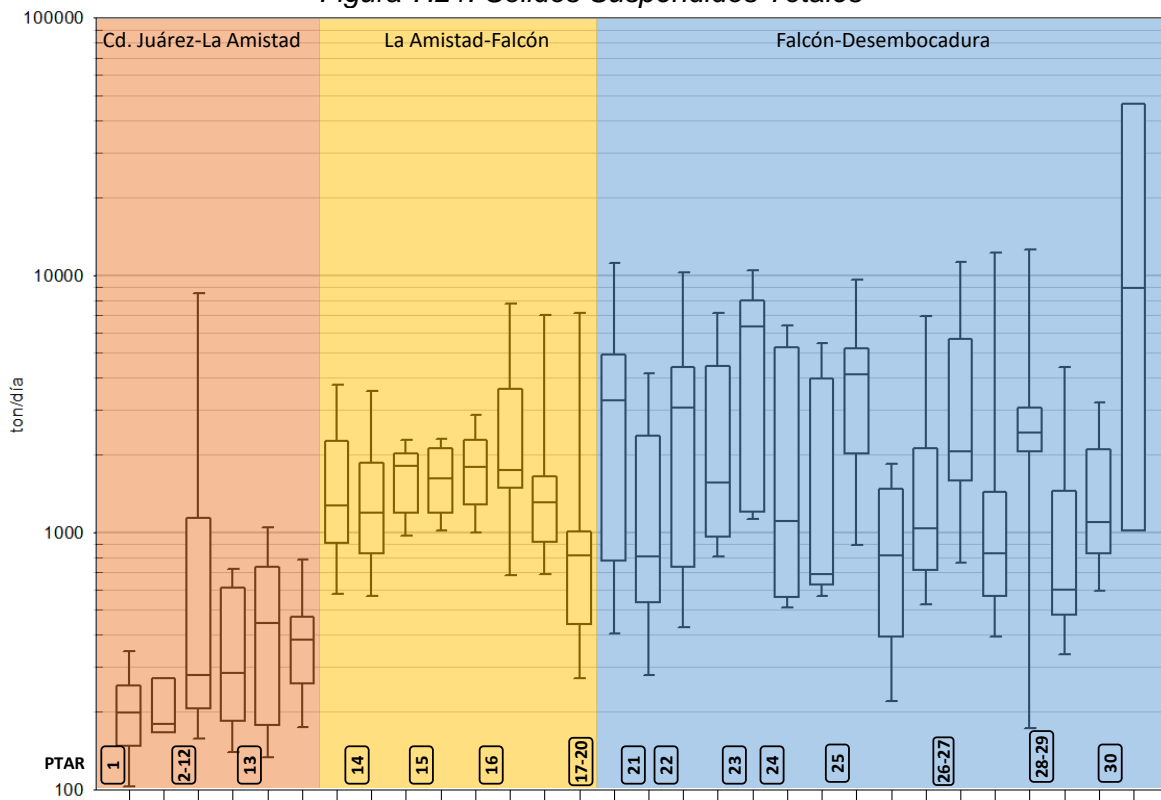


Figura 7.22. Sólidos Disueltos Totales

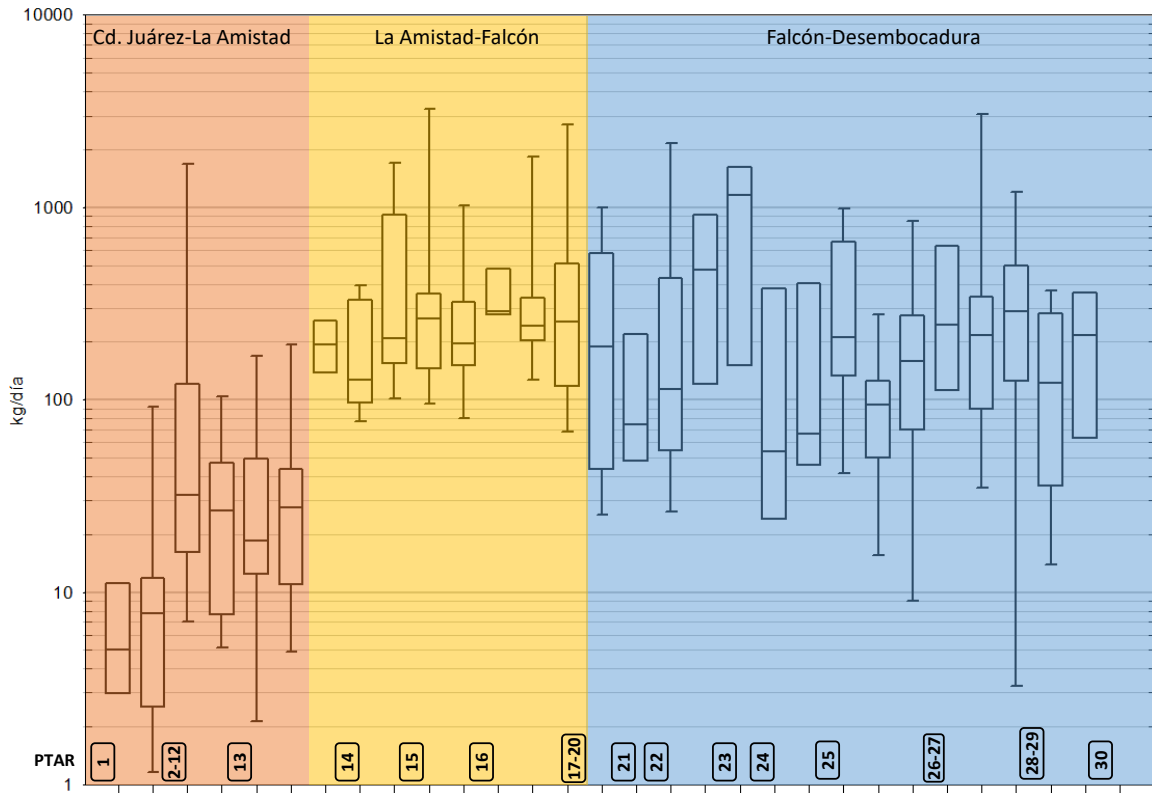


Figura 7.23. Sustancias Activas al Azul de Metileno

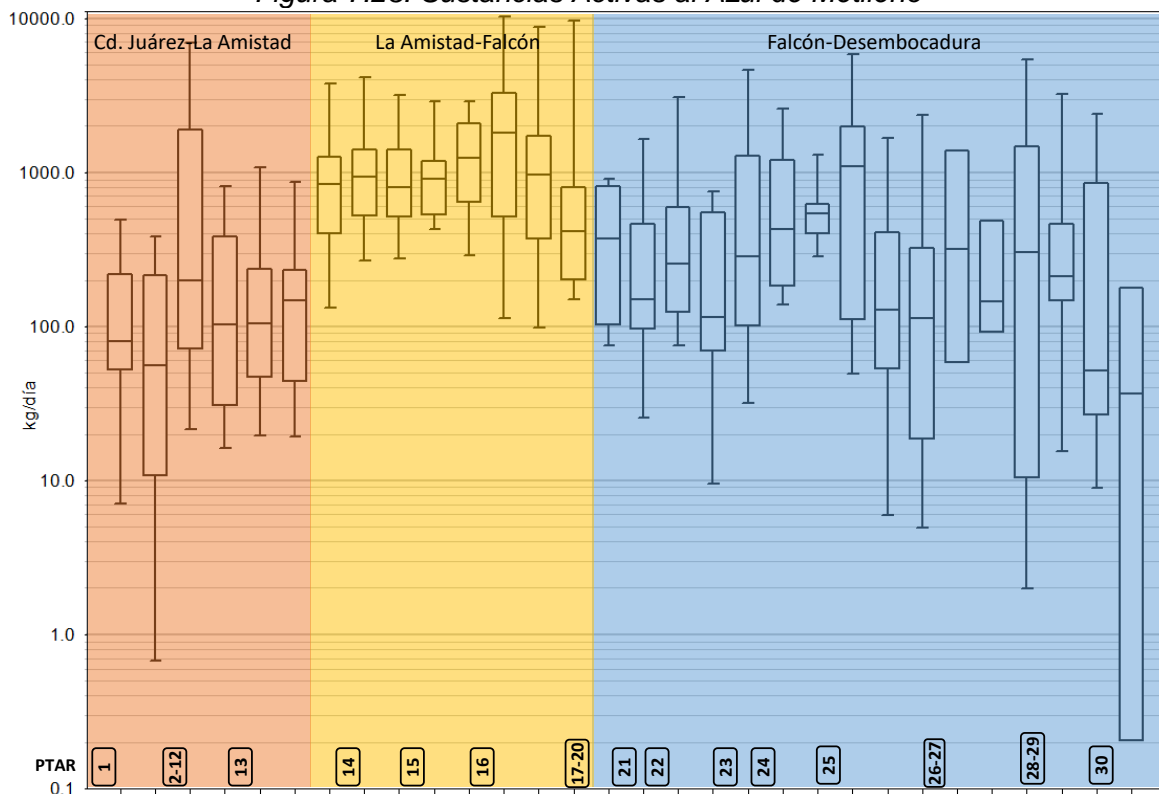


Figura 7.24. Nitratos

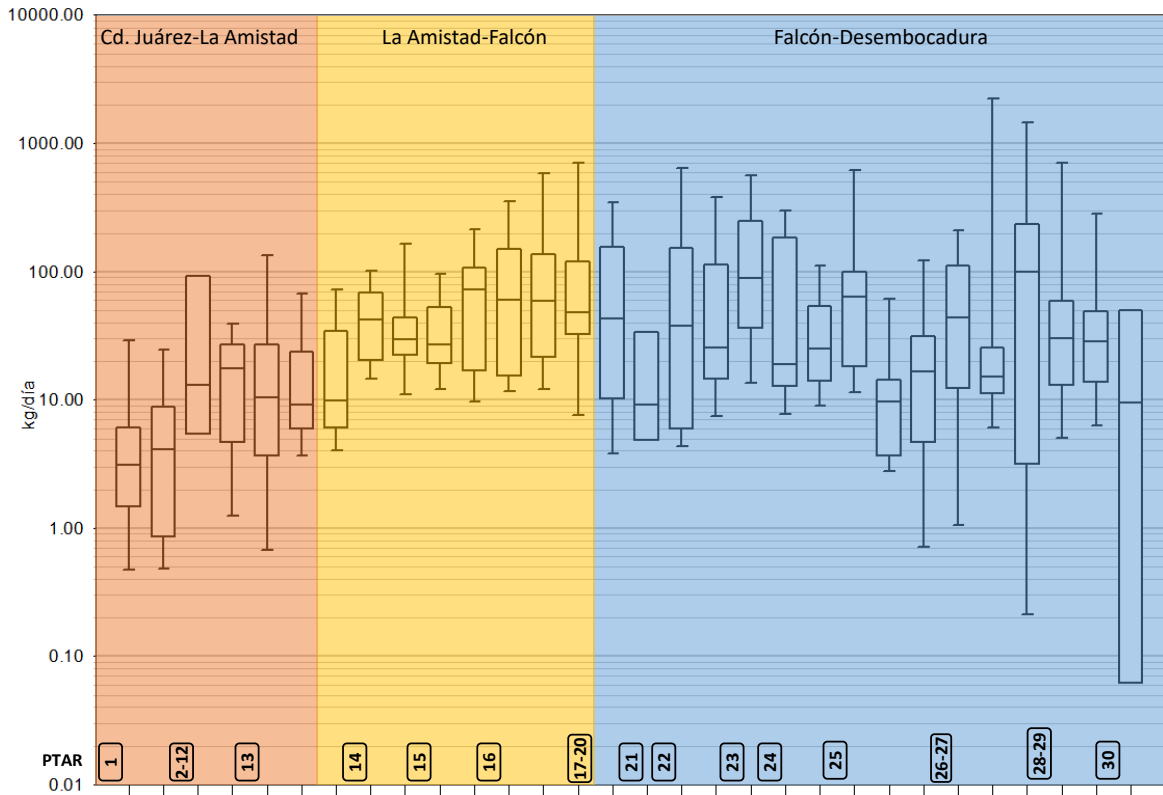


Figura 7.25. Nitritos

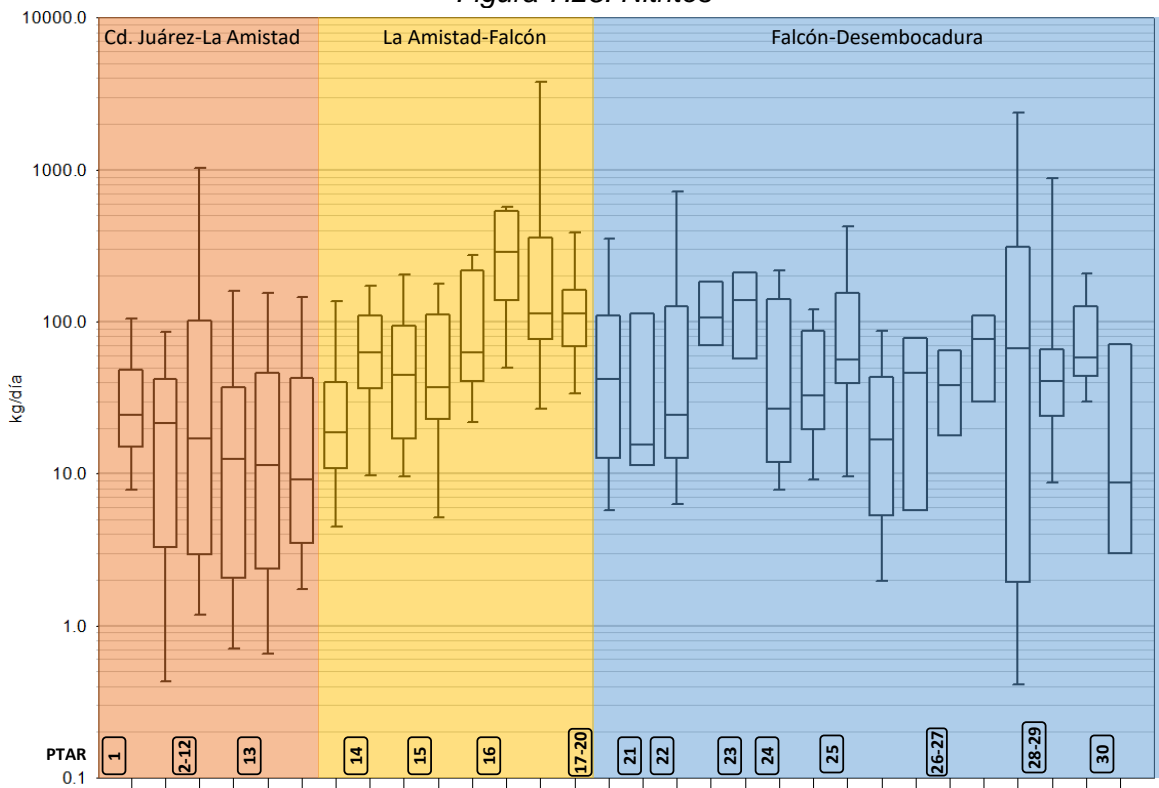


Figura 7.26. Ortofosfatos

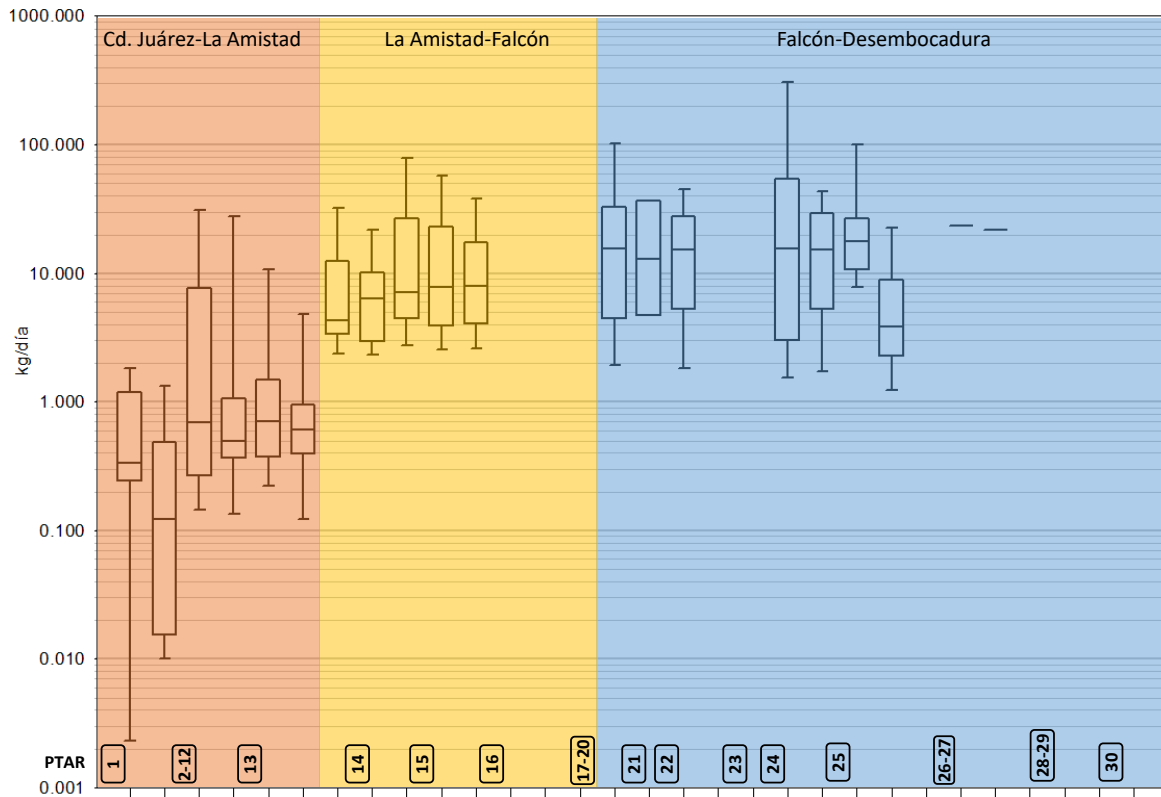


Figura 7.27. Cianuros

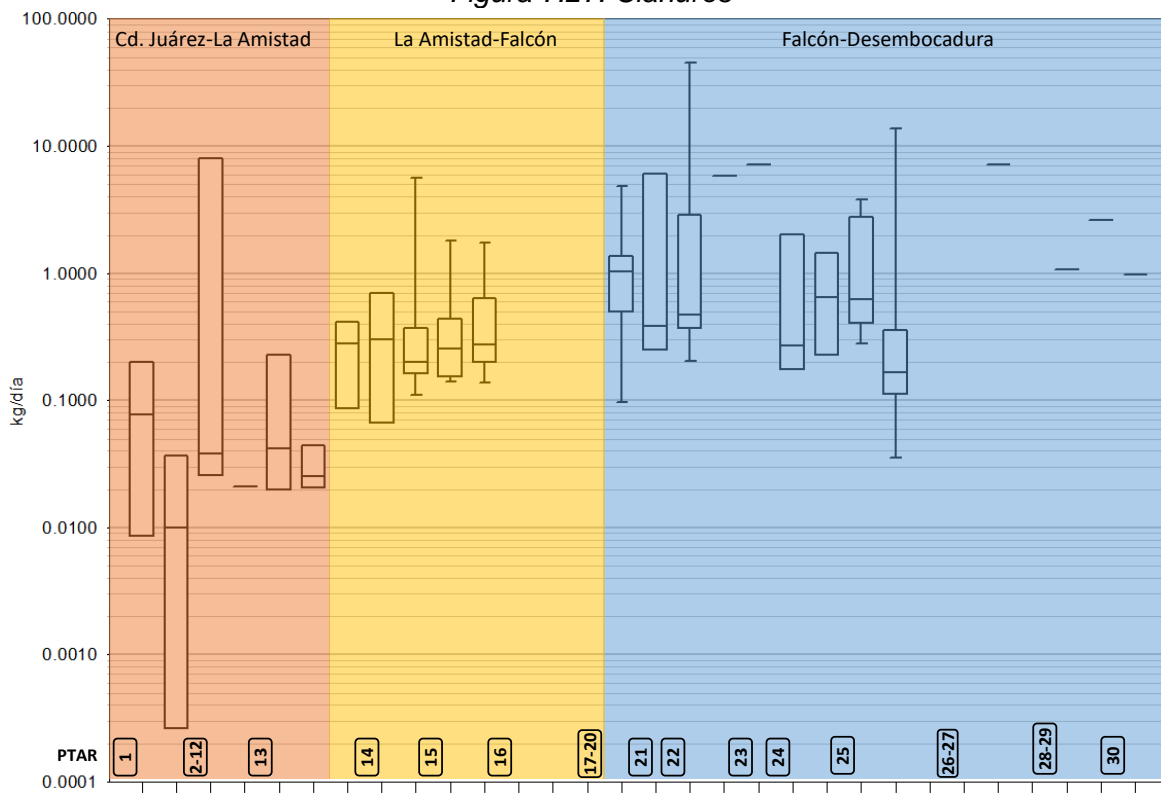


Figura 7.28. Mercurio

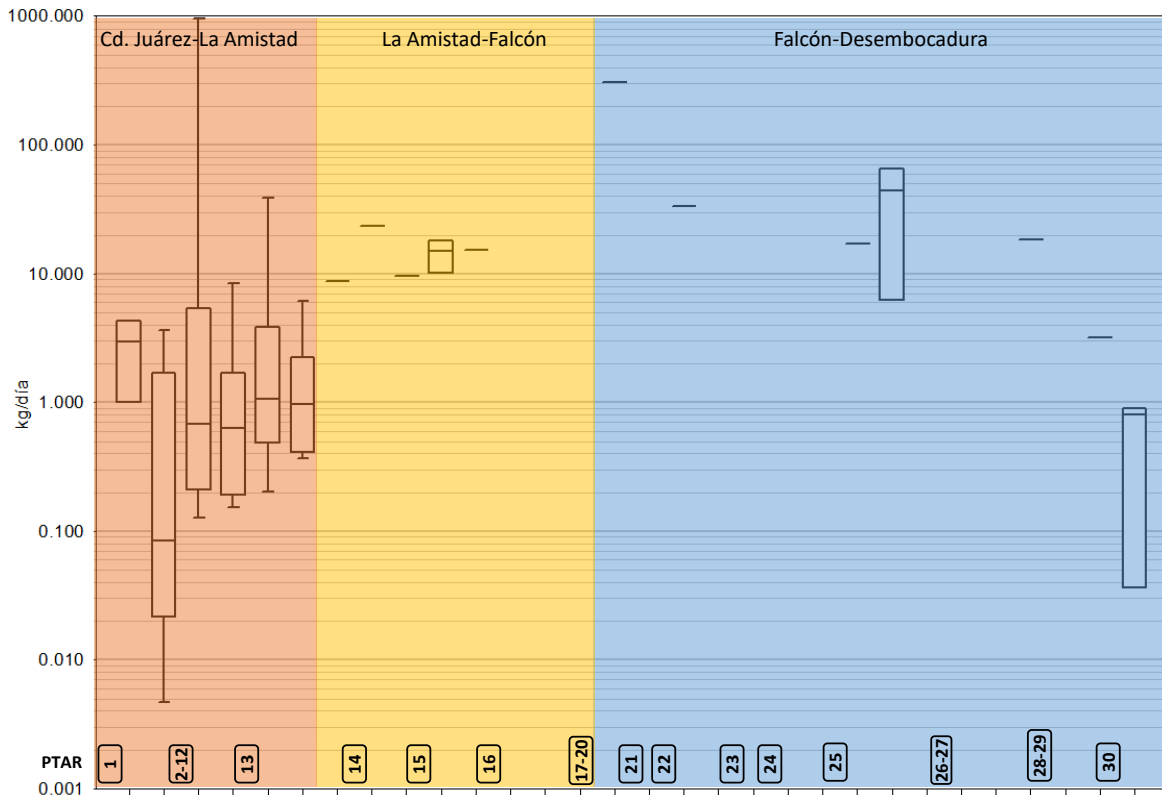


Figura 7.29. Níquel

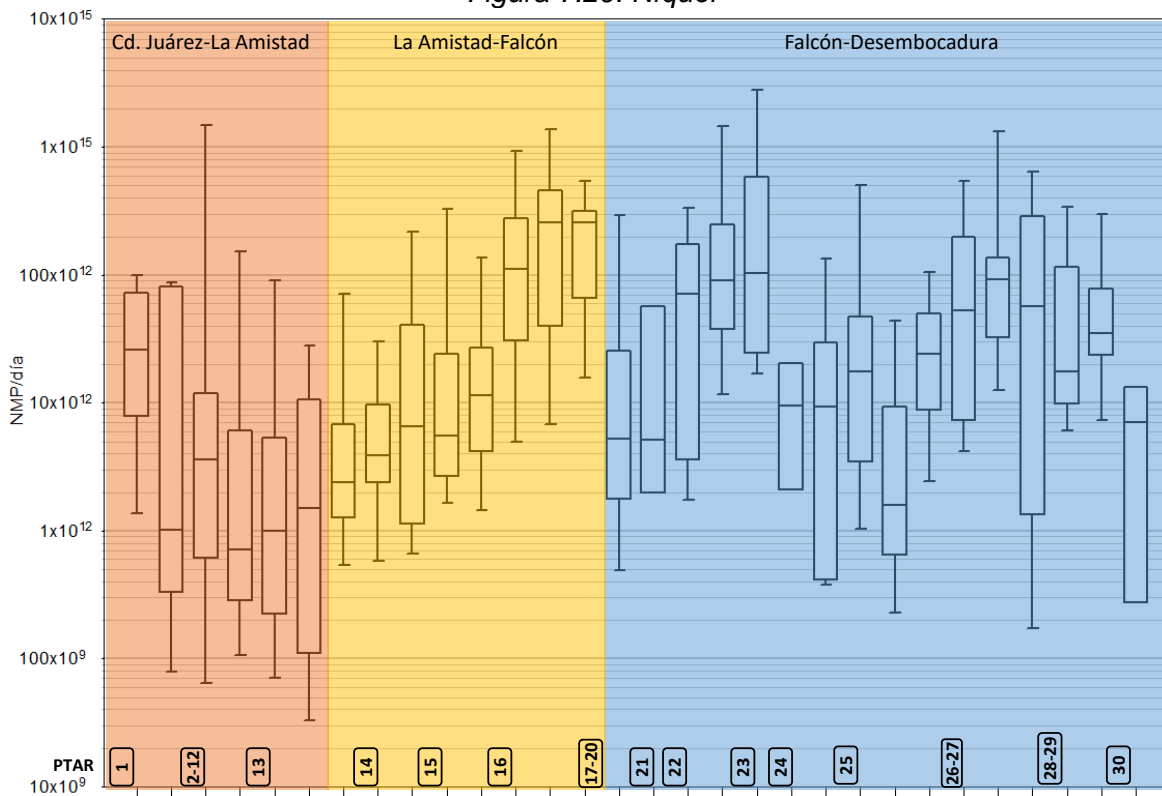


Figura 7.30. Coliformes fecales

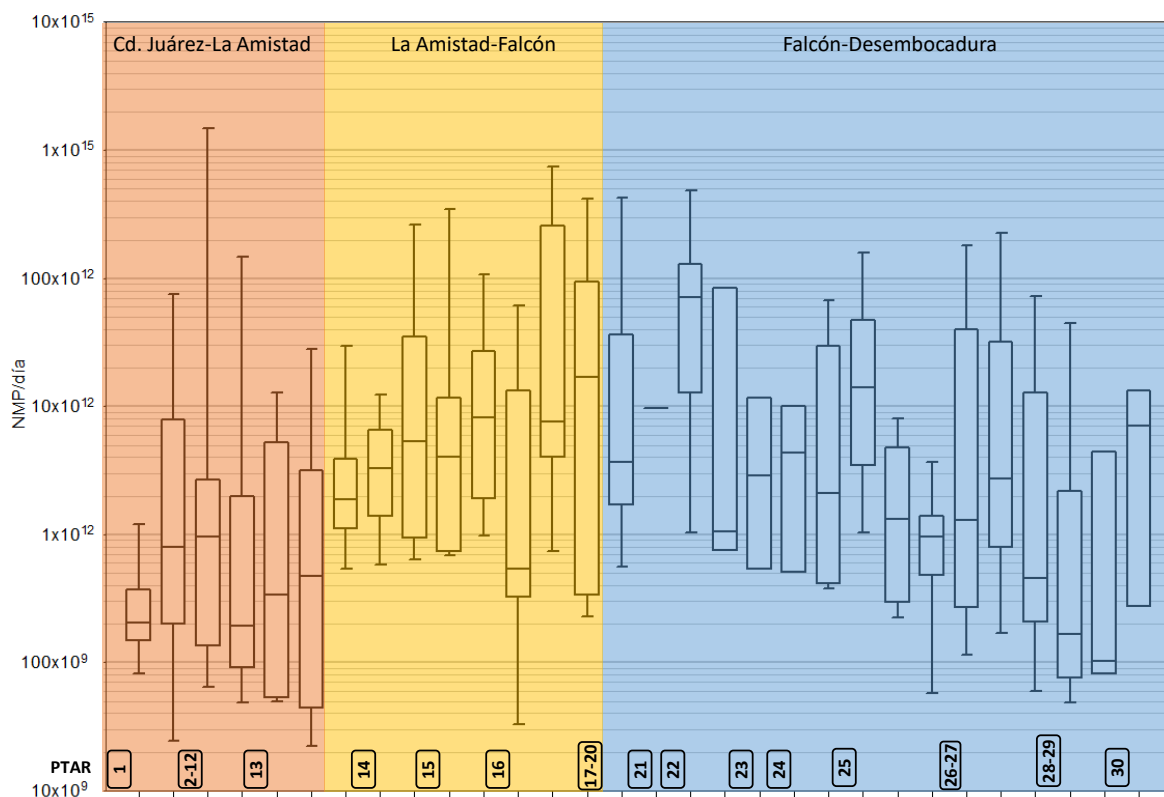


Figura 7.31. Escherichia Coli

7.4 PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

A lo largo del río Bravo desde Ciudad Juárez hasta la desembocadura con el Golfo de México, se localizan 30 plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) (CONAGUA, 2016) correspondientes a las localidades urbanas que se ubican en las cercanías con el río. Sus descargas al río Bravo afectan en cierta medida la calidad del agua del mismo. En la Tabla 4 y 5 se lista por tramo las plantas de tratamiento con sus capacidades instaladas, y en la Figura 32 y Figura 33 se ilustran la localización de estas.

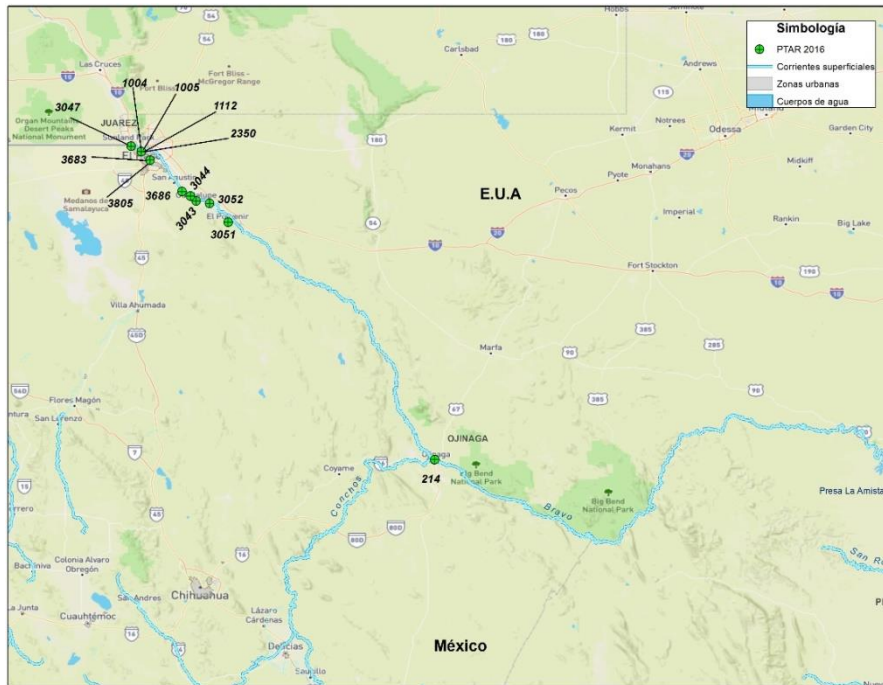


Figura 7.32. Plantas de tratamiento de aguas residuales, tramo Ciudad Juárez - presa La Amistad

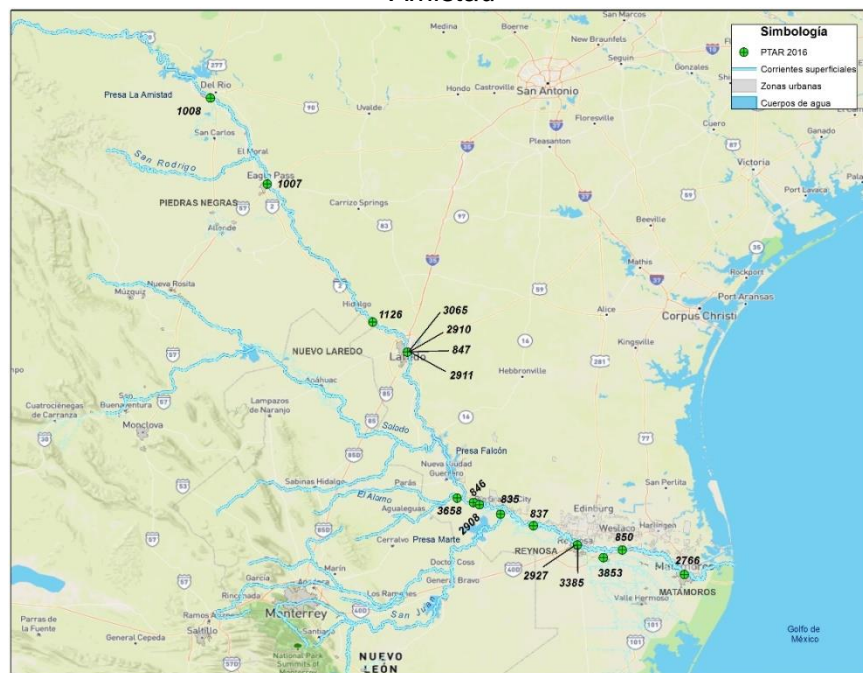


Figura 7.33. Plantas de tratamiento de aguas residuales, desde presa La Amistad a desembocadura

Tabla 7.3 Plantas de tratamiento de aguas residuales en el río Bravo

Tramo	Clave	Nombre	Estado	Municipio	Localidad	Capacidad Instalada L/s	Caudal tratado l/s	Año construcción	Año operación
Ciudad Juárez-Presa La Amistad	3047	Anapra	Chihuahua	Juárez	Puerto de Anapra	62.0	22.5	2010	2010
	1004	Sur	Chihuahua	Juárez	Juárez	2000.0	1620.0	1980	1980
	1005	Norte	Chihuahua	Juárez	Juárez	1600.0	1350.0	1999	2000
	1112	El Chamizal	Chihuahua	Juárez	Juárez	50.0	50.0	1980	1980
	2350	U.A.C.J. Campus Juárez	Chihuahua	Juárez	Juárez	1.0	1.0	2008	2008
	3683	Planta Laguna de Patos	Chihuahua	Juárez	Juárez	25.0	24.5	2011	2011
	3805	Planta Sur	Chihuahua	Juárez	Juárez	500.0	300.0	2013	2013
	3686	El Millón, Jesús Carranza, Tres	Chihuahua	Juárez	El Millón	11.2	0.2	2011	2011
	3044	Porfirio Parra, Barreales y Juárez	Chihuahua	Guadalupe	Doctor Porfirio Parra	14.3	7.0	2010	2010
	3043	Guadalupe	Chihuahua	Guadalupe	Guadalupe	18.0	9.0	2010	2010
	3052	Praxedis G. Guerrero	Chihuahua	Praxedis G. Guerrero	Praxedis G. Guerrero	14.7	11.0	2010	2010
	3051	El Porvenir	Chihuahua	Praxedis G. Guerrero	El Porvenir	15.2	6.0	2010	2010
P. La Amistad - Falcón	214	Ojinaga	Chihuahua	Ojinaga	Manuel Ojinaga	109.0	70.0	1980	1980
	1008	Ciudad Acuña	Coahuila de Zaragoza	Acuña	Ciudad Acuña	500.0	482.0	1999	2000
	1007	Piedras Negras	Coahuila de Zaragoza	Piedras Negras	Piedras Negras	720.0	789.0	1998	2000
	1126	Colombia	Nuevo León	Anáhuac	Colombia	10.0	2.2	1980	1980
	3065	Norponiente	Tamaulipas	Nuevo Laredo	Nuevo Laredo	200.0	60.0	2008	2009
	2910	Valles de Anáhuac	Tamaulipas	Nuevo Laredo	Nuevo Laredo	33.0	27.0	2007	2007
	847	Nuevo Laredo	Tamaulipas	Nuevo Laredo	Nuevo Laredo	1360.0	900.0	1994	1996
	2911	Parque Industrial Oradel	Tamaulipas	Nuevo Laredo	Nuevo Laredo	9.0	4.0	2004	2005
P. Falcón - Desembocadura	3658	Zona Este	Tamaulipas	Mier	Mier	20.0	10.0	2011	2011
	846	Miguel Alemán	Tamaulipas	Miguel Alemán	Ciudad Miguel Alemán	75.0	40.0	2008	2009
	2908	Los Ángeles	Tamaulipas	Miguel Alemán	Los Ángeles	5.0	2.0	2008	2008
	835	Camargo	Tamaulipas	Camargo	Ciudad Camargo	30.0	20.0	1980	1980
	837	Gustavo Díaz Ordaz	Tamaulipas	Gustavo Díaz Ordaz	Ciudad Gustavo Díaz	21.0	10.0	1980	1980
	2927	Reynosa I	Tamaulipas	Reynosa	Reynosa	1000.0	850.0	2008	2008
	3385	Reynosa II	Tamaulipas	Reynosa	Reynosa	750.0	250.0	2011	2011
	3853	Río Bravo-Nuevo Progreso	Tamaulipas	Río Bravo	Río Bravo	240.0	81.0	2010	2013
	850	Nuevo Progreso	Tamaulipas	Río Bravo	Nuevo Progreso	16.0	12.0	1980	1980
2766	Oriente	Tamaulipas	Matamoros	Heroica Matamoros	435.0	325.0	2008	2008	

Tabla 7.4 Plantas de tratamiento de aguas residuales y sus proceso de tratamiento en el río Bravo, continuación

Tramo	Clave	Nombre	Proceso	Cuerpo receptor	Longitud	Latitud
Ciudad Juárez-Presa La Amistad	3047	Anapra	Lodos Activados	Distribución por pipa	-106.5597	31.7775
	1004	Sur	Lodos Activados	Canal de riego	-106.4869	31.7394
	1005	Norte	Lodos Activados	Distrito de riego Bravo	-106.4869	31.7394
	1112	El Chamizal	Lodos Activados	Reúso Urbano Municipal	-106.4869	31.7394
	2350	U.A.C.J. Campus Juárez	Lodos Activados	Áreas verdes	-106.4869	31.7394
	3683	Planta Laguna de Patos	Lodos Activados	Reuso directo urbano	-106.4260	31.6780
	3805	Planta Sur	Lodos Activados	Río Bravo	-106.4260	31.6780
	3686	El Millón, Jesús Carranza, Tres Jacales y San Agustín	Lagunas de Estabilización	Río Bravo	-106.1995	31.4566
	3044	Porfirio Parra, Barreales y Juárez	Lagunas de Estabilización	Dren interceptor	-106.1417	31.4256
	3043	Guadalupe	Lagunas de Estabilización	Dren interceptor	-106.1014	31.3897
	3052	Praxedis G. Guerrero	Lagunas de Estabilización	Dren interceptor	-106.0056	31.3728
	3051	El Porvenir	Lagunas de Estabilización	Dren interceptor	-105.8753	31.2394
	214	Ojinaga	Lagunas de Estabilización	Río Bravo	-104.4164	29.5644
P. La Amistad - Falcón	1008	Ciudad Acuña	Lodos Activados	Río Bravo, Reúso Indirecto Industrial (CFE)	-100.9333	29.3200
	1007	Piedras Negras	Lodos Activados	Río Bravo, Reúso Indirecto Industrial (CFE)	-100.5231	28.7000
	1126	Colombia	Lodos Activados	Arroyo San Damián	-99.7594	27.7033
	3065	Norponiente	Lodos Activados	Arroyo s/n afluente del arroyo Coyote	-99.5081	27.4864
	2910	Valles de Anáhuac	Lodos Activados	Arroyo s/n afluente del arroyo Coyote	-99.5081	27.4864
	847	Nuevo Laredo	Lodos Activados	Arroyo el Coyote afluente del Río Bravo	-99.5081	27.4864
	2911	Parque Industrial Oradel	Lodos Activados	Arroyo s/n afluente del arroyo Coyote	-99.5081	27.4864
P. Falcón - Desembocadura	3658	Zona Este	Lagunas de Estabilización	Arroyo Salado	-99.1483	26.4306
	846	Miguel Alemán	Lagunas de Estabilización	Dren Los Guardados	-99.0300	26.3981
	2908	Los Ángeles	Biológico	Dren los Guardados	-98.9858	26.3833
	835	Camargo	Lagunas de Estabilización	Río San Juan	-98.8333	26.3156
	837	Gustavo Díaz Ordaz	Lagunas de Estabilización	Subsuelo	-98.5969	26.2322
	2927	Reynosa I	Lodos Activados	Dren El Anheló	-98.2778	26.0922
	3385	Reynosa II	Lodos Activados	Canal Rhode	-98.2778	26.0922
	3853	Río Bravo-Nuevo Progreso	Lagunas de Estabilización	Dren Rio Bravo	-98.0900	26.0009
	850	Nuevo Progreso	Lagunas de Estabilización	Nuevo Progreso	-97.9522	26.0561
	2766	Oriente	Lagunas de Estabilización	Arroyo la Pita	-97.5042	25.8797

7.5 APLICACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA CCME WATER QUALITY INDEX

Aplicar un índice de calidad del agua es una manera conveniente de resumir una gran cantidad de información de calidad del agua, y permite una interpretación sencilla de las condiciones de calidad del agua en un sitio específico. El índice de calidad, fue desarrollado en Canadá, y es una variación de la metodología propuesta por el Ministerio de Medio Ambiente de la Columbia Británica. El índice se conoce como CCME Water Quality Index, e incorpora tres elementos, el F1. Alcance, se refiere al número de variables que no alcanzan los criterios de calidad del agua para el uso designado, F2. Frecuencia, el número de veces en que estos criterios no se cumplen y, F3. Amplitud, la cantidad en que los criterios son excedidos. Este índice produce un resultado entre 0 (peor calidad) y 100 (mejor calidad del agua) (Tabla 6). Este índice está dado por la siguiente expresión,

$$CCMEWQI = 100 - \left(\frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1.732} \right)$$

En donde,

$$F_1 = \left(\frac{\text{Numero de variables que no cumplen}}{\text{Total de variables}} \right) * 100$$

$$F_2 = \left(\frac{\text{Numero de veces que se exceden}}{\text{Total de muestras}} \right) * 100$$

$$\text{excursión}_i = \left(\frac{\text{Valor que excede criterio}}{\text{criterio}} \right) - 1 - 1$$

$$nse = \frac{\sum_{i=1}^n \text{excursión}_i}{\text{total de muestras}}$$

$$F_3 = \left(\frac{nse}{0.01 * nse + 0.01} \right)$$

http://www.ccme.ca/en/resources/canadian_environmental_quality_guidelines/calculators.html

Las cinco escalas de clasificación son las siguientes:

Tabla 7.5 Intervalos de clasificación

Valor	Criterio	Color
95 – 100	Excelente	Azul
80 – 94	Bueno	Verde
65 – 79	Regular	Naranja
45 - 64	Contaminado	Rojo
0 - 44	Muy contaminado	Negro

7.5.1 Información base

En el Anexo 3 se presentan los datos históricos de resultados de calidad del agua para las 34 estación de monitoreo de la Red Nacional de Monitoreo (RNM) de 2012 a 2017, desde Ciudad Juárez hasta la desembocadura con el Golfo de México. En estas tablas se incluyen los criterios para Fuente de Abastecimiento de Agua potable (FAAP), tomados de los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001/89, y se señala en rojo los valores que exceden los criterios, mismos que son cuantificados para el cálculo del índice de calidad del agua.

7.5.2 Resultados

En el cauce principal del río Bravo, desde Ciudad Juárez hasta la desembocadura al Golfo de México, los resultados del Índice de Calidad del Agua aplicado (índice Canadiense de calidad del agua CCME Water Quality Index versión 1.0) a los datos de la Red Nacional de Monitoreo desde 2012 a 2017, se presentan en el resumen de los factores (Tabla 7 y 8) y la clasificación de calidad del agua de cada estación en las Tabla 9 y 10.

En la Figura 7.34 y Figura 7.35 se presentan las estaciones de monitoreo y su correspondiente color que representa la calidad del agua obtenida de acuerdo al porcentaje que se obtuvo del Índice de Calidad del Agua con el uso para fuente de abastecimiento de agua potable.

Tabla 7.6 Resultado de parámetros del índice de calidad para el río Bravo

Tabla 7.7 Resultado de parámetros del índice de calidad para las estaciones en presas

Tabla 7.8

Sitio	# Variables que no cumplen	Total de Variables	# Veces que se excede	# Total de muestras	F1	F2	nse	F3
CHI290	11	16	69	337	68.8	20.5	1.00	49.9
CHI289	9	16	91	385	56.3	23.6	4.40	81.5
CHI382	9	16	47	292	56.3	16.1	0.47	32.0
CHI383	9	16	42	326	56.3	12.9	0.29	22.7
CHI384	9	16	62	471	56.3	13.2	0.21	17.5
CHI385	9	16	69	470	56.3	14.7	0.28	21.9
COA486	5	16	27	448	31.3	6.0	0.02	2.1
COA484	6	16	32	452	37.5	7.1	0.07	6.4
COA481	6	16	32	451	37.5	7.1	0.09	8.6
COA479	6	16	32	453	37.5	7.1	0.06	5.3
COA478	4	16	40	448	25.0	8.9	0.05	5.0
RBR5210M	6	16	52	423	37.5	12.3	0.35	25.9
RBR5209M	6	16	62	433	37.5	14.3	0.53	34.5
RBR5208M	7	16	64	419	43.8	15.3	0.57	36.5
RBR5196M	5	16	24	380	31.3	6.3	0.05	5.2
RBR5194M	6	16	21	269	37.5	7.8	0.03	3.2
RBR5193M	6	16	42	460	37.5	9.1	0.14	12.4
RBR5142M	5	16	51	440	31.3	11.6	0.26	20.4
RBR5140M	3	16	48	438	18.8	11.0	0.29	22.2
RBR5139M	6	16	16	257	37.5	6.2	0.02	2.3
RBR5149M	5	16	20	288	31.3	6.9	0.01	1.1
RBR5136M	5	16	28	446	31.3	6.3	0.09	8.5
RBR5134M	5	16	28	463	31.3	6.0	0.08	7.8
RBR5132M	3	16	50	440	18.8	11.4	0.24	19.4
RBR5131M	5	16	52	439	31.3	11.8	0.43	30.2
RBR5129M	8	16	63	403	50.0	15.6	0.55	35.3
RBR5127M	7	16	72	441	43.8	16.3	0.44	30.4
RBR5122M	7	16	68	458	43.8	14.8	0.40	28.7
RBR5111M	8	16	62	462	50.0	13.4	0.30	23.0

Sitio	# Variables que no cumplen	Total de Variables	# Veces que se excede	# Total de muestras	F1	F2	nse	F3
COA491	1	12	6	119	8.3	5.0	0.01	1.1
COA487	1	12	5	117	8.3	4.3	0.01	0.6
RBR5197M	5	12	12	105	41.7	11.4	0.02	1.5
RBR5205M	2	12	10	106	16.7	9.4	0.01	0.8

Clasificación por estación de monitoreo y el Índice de calidad del agua.

Sitio	Índice Calidad	Grado contaminación
CHI290	49.55	Contaminado
CHI289	41.22	Muy Contaminado

Sitio	Índice Calidad	Grado contaminación
CHI382	61.49	Contaminado
CHI383	64.19	Contaminado
CHI384	65.15	Regular
CHI385	64.12	Contaminado
COA486	81.59	Bueno
COA484	77.66	Regular
COA481	77.42	Regular
COA479	77.75	Regular
COA478	84.40	Bueno
RBR5210M	72.74	Regular
RBR5209M	69.43	Regular
RBR5208M	65.95	Regular
RBR5196M	81.35	Bueno
RBR5194M	77.81	Regular
RBR5193M	76.60	Regular
RBR5142M	77.44	Regular
RBR5140M	82.05	Bueno
RBR5139M	78.01	Regular
RBR5149M	81.51	Bueno
RBR5136M	80.95	Bueno
RBR5134M	81.07	Bueno
RBR5132M	83.09	Bueno
RBR5131M	74.00	Regular
RBR5129M	63.52	Contaminado
RBR5127M	67.84	Regular
RBR5122M	68.60	Regular
RBR5111M	67.29	Regular

Tabla 7.9 Índice de calidad del agua en presas del río Bravo

Sitio	Índice	Grado
COA491	94.34	Bueno
COA487	94.58	Bueno
RBR5197M	75.04	Regular
RBR5205M	88.93	Bueno

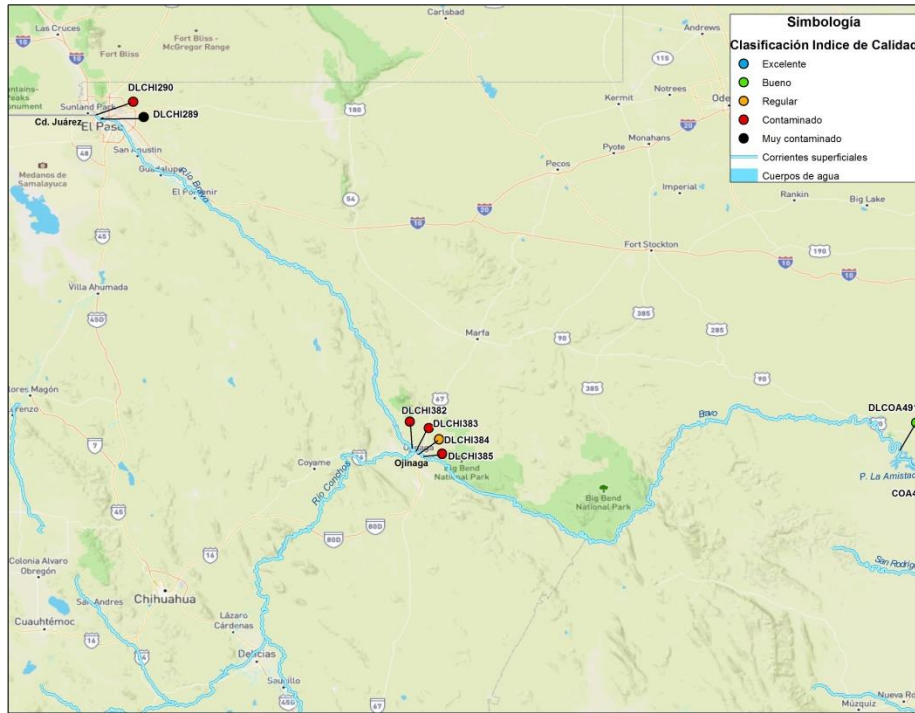


Figura 7.34. Índice de calidad del agua en el río Bravo, desde Ciudad Juárez hasta la presa La Amistad.

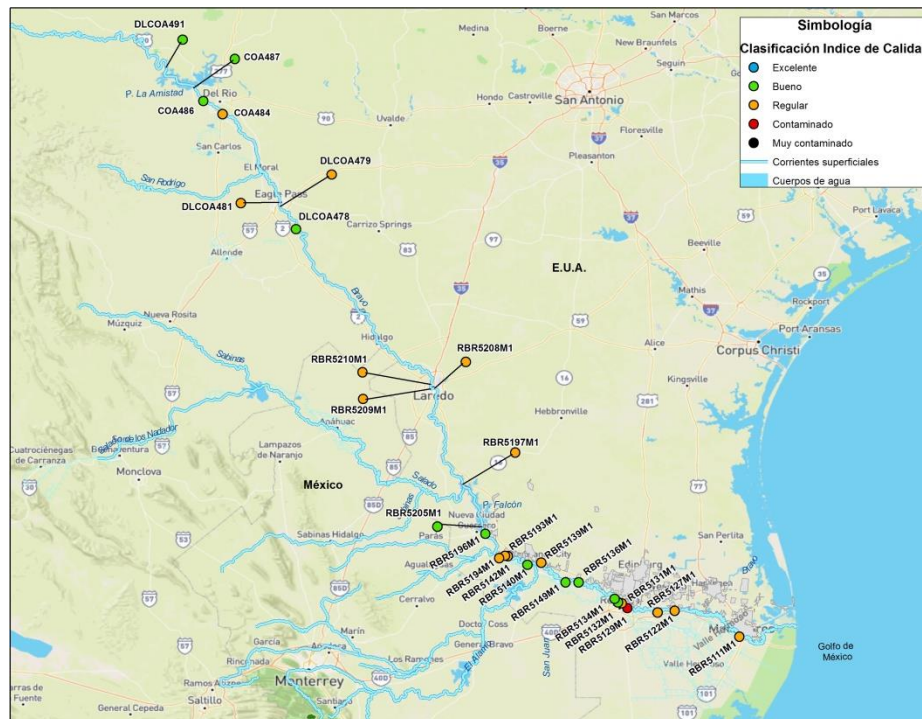


Figura 7.35. Índice de calidad del agua en el río Bravo, desde la presa La Amistad hasta la desembocadura con el Golfo de México

7.5.3 Análisis de resultados

La DBO en el río Bravo presenta mayormente valores medios que lo clasifican de acuerdo a los indicadores de CONAGUA como “Buena Calidad”. Existen tres sitios en las cuales, baja la clasificación a “Aceptable”, y coincide en donde se ubican las localidades con mayor número de habitantes y las plantas de tratamiento de aguas residuales, Ciudad Juárez, Reynosa y Matamoros.

La DQO en el río Bravo presenta tres comportamientos. En el primer tramo, la DQO tiene una tendencia a mejorar de “Contaminada” a “Aceptable”, siendo el único sitio que reporta una calidad como contaminada en Ciudad Juárez. El segundo tramo presenta condiciones que van de “Buena Calidad” a “Aceptable”, y en el tercer tramo presenta valores entre “Buena Calidad” a “Aceptable”, con oscilaciones debidas a la presencia de descargas de localidades que se encuentran a lo largo de este tramo.

Los Sólidos Suspendidos Totales, muestran condiciones de calidad del agua que van de “Contaminada” a “Excelente”. En el primer tramo ocurren las condiciones más desfavorables, al presentarse condiciones de “Contaminado” en tres estaciones y el resto “Aceptables”. Los dos tramos siguientes, siguen una tendencia decreciente en su calidad con respecto a este parámetro. No obstante esta tendencia, en el segundo tramo la calidad del agua permanece como “Buena Calidad”, y en el tercer tramo inicia con una calidad “Excelente”, y va disminuyendo gradualmente hasta terminar como “Aceptable”.

Con respecto a los Sólidos Disueltos Totales, y teniendo como referencia el criterio dado en CE-CCA-001/89 para Fuente de Abastecimiento de Agua Potable (FAAP) de 500 mg/L, todo el río presenta valores por arriba del citado criterio, siendo el primer tramo el que presenta los mayores valores medios, es decir de 1,200 mg/L en promedio, el segundo tramo presenta valores medios entre 600 a 700 mg/L y el tercer tramo presenta una tendencia creciente de valores medios que van de 550 a 850 mg/L.

En cuanto a los nutrientes, y en específico los Nitratos, sus valores medios no sobrepasa el criterio para el uso FAAP, es decir 5 mg/L, y solo una estación ubicada en el primer tramo excede su percentil 75 y extremos el criterio. Cabe mencionar que los dos primeros tramos tiene valores medios mayores que están entre 0.2 a 1.5 mg/L, mientras que el tercer tramo los valores medios oscilan entre 0.04 a 0.3 mg/L. Para los Nitritos, dos estaciones sobrepasan el criterio dado en los CECA de 0.05 mg/L para el uso FAAP. Estas estaciones se ubican, una en el primer tramo después de Ciudad Juárez, y la segunda en el tercer tramo en la localidad de Matamoros. Fuera de estas estaciones solo valores percentiles 75 y extremos, exceden el criterio principalmente en los tramos primero y tercero.

Para otro nutriente, en este caso los Ortofosfatos, los CECA indican un criterio de 0.1 mg/L para FAAP. Este criterio se ve superado solo en una estación que se ubica en el primer tramo aguas abajo de la localidad de Ciudad Juárez. En el resto de las estaciones la media no supera el criterio, excepto en estaciones al final de cada tramo en las cuales su percentil 75 supera el criterio. El comportamiento de este parámetro después de las presas La Amistad y Falcón presenta una tendencia creciente hacia el final de cada tramo, aunque como se indicó, no se ve superado el criterio de los CECA.

El criterio de calidad del agua dado en los CECA de 75 unidades de color Pt/Co, se ve excedido solo por los valores extremos en tres estaciones que se ubican en el primer tramo del río Bravo. Los valores medios en el primer tramo están en un rango entre 15 a 20

unidades de color Pt/Co, en el segundo tramo entre 6 a 10 unidades de color Pt/Co, y en el tercer tramo entre 10 a 15 unidades de color Pt/Co.

La parte de detergentes dado por las Sustancias Activas al Azul de Metileno indican que los valores medios en las estaciones del río no superan el valor dado en los CECA de 0.5 mg/L. Solo valores extremos han superado este criterio. En el primer tramo la media oscila entre 0.03 a 0.22 mg/L, en el segundo tramo entre 0.06 a 0.18 mg/L y en el tercer tramo entre 0.06 a 0.10 mg/L.

Los Coliformes Fecales en el río Bravo muestran un comportamiento cuya calidad va de “Excelente” a “Muy Contaminado” de acuerdo a los indicadores de CONAGUA. En el primer tramo los valores medios indican un comportamiento de “Muy Contaminado” a “Aceptable”, es decir este parámetro tiene una tendencia decreciente a la mejora. En el segundo tramo por el contrario, la calidad a la salida de la presa La Amistad es “Excelente” con una tendencia creciente a deterioro, hasta terminar en una condición de “Contaminado” al final del tramo. En el tercer tramo la calidad inicia como “Buena Calidad” y tiene dos fluctuaciones de aumento y disminución, por efecto de la presencia de localidades urbanas y afluentes que descargan al río Bravo. El río en este tramo llega a tener condiciones de “Contaminado” en buena parte de su recorrido, y de “Excelente” en su parte media por efecto de depuración propia del río.

La Escherichia Coli (EC) por su parte sigue un comportamiento muy similar a los Coliformes Fecales a lo largo del río Bravo, no obstante sus condiciones de calidad son mejores. Así, en el primer tramo, la media de este parámetro guarda una condición “Excelente”. El percentil 75 en una estación, alcanza una condición de “Contaminado”, y de “Muy Contaminado” para todos los valores máximos extremos. En el segundo tramo, la media tiene al inicio condiciones de calidad “Excelente” con una tendencia creciente a deterioro hasta alcanzar una condición de “Aceptable” al final del tramo. De nuevo en dos estaciones, el percentil 75 alcanza condiciones de “Contaminado”, así como los valores máximos extremos en cuatro estaciones y de “Muy Contaminado” en una estación. En el tercer tramo se presentan las dos fluctuaciones como en los coliformes, no obstante los valores medios muestran una condición de calidad “Excelente” en todas las estaciones, excepto en una que muestra una condición de “Buena Calidad”. Percentiles 75 y máximos extremos de igual manera, han alcanzado la condición de “Contaminado” en este tramo respecto a la EC.

En lo que se refiere a metales, el valor medio de Mercurio ha superado el criterio de los CECA para FAAP de 0.001 mg/L en tres estaciones, una ubicada en el segundo tramo y dos ubicadas en el tercer tramo. Percentiles 75 y valores máximos, de igual manera han superado el criterio en 11 de las 30 estaciones analizadas en los tres tramos. Para en Níquel, los CECA definen un criterio de 0.01 mg/L, y la media en las estaciones no supera este criterio, excepto en los percentiles 75 en cuatro estaciones y los valores máximos extremos en 5 estaciones, siendo el primer tramo el que presenta los valores más desfavorables.

Las cargas de contaminantes indican que se presentan los valores más altos en el tercer tramo, mismo que registra los valores más altos de caudal (inicia con una media de 50 m³/s y disminuye gradualmente hasta llegar a 8 m³/s). El segundo tramo presenta valores medios de caudal entre 15 a 40 m³/s. El primer tramo se caracteriza por tener los menores caudales medios, es decir entre 0.2 a 4 m³/s, y aunque en algunos parámetros se tienen las

condiciones más críticas en cuanto a que sobrepasan los criterios de calidad, las cargas transportadas son las menores.

Los resultados del índice de calidad del agua, señalan que el parámetro que tiene más efecto en el valor del índice son los Sólidos Disueltos Totales, los cuales sobrepasan el criterio en todos los sitios del río Bravo (34 estaciones), y son la suma de los cationes y aniones presentes en el agua, cuya fuente principal son escorrentía agrícola, descargas de aguas residuales. Los nutrientes, como las especies de Nitrógeno (Nitratos y Nitritos) y Fósforo (Ortofosfatos), también forman parte de los SDT y también son los parámetros que definieron el ICA. Mientras que en menor medida los Coliformes Fecales, seguido del Oxígeno Disuelto y los metales Mercurio y Níquel.

Los valores más críticos se obtienen en el tramo de Ciudad Juárez a la Presa La Amistad (Tramo 1), en la cercanía con las localidades de Ciudad Juárez y Ojinaga, con condiciones de calidad “Contaminado” a “Muy Contaminado”. En los dos tramos posteriores, es decir presa La Amistad – presa Falcón y presa Falcón – desembocadura, el índice da como resultado condiciones de calidad “Buena” a “Regular”, excepto en la estación cercana a Reynosa, la cual denota condiciones de “Contaminado”.

En la Figura 7.35 se presenta el resumen del Índice de Calidad del Agua, obteniéndose una estación muy contaminada, cinco contaminadas, 16 de calidad regular, 10 de buena calidad y una de excelente calidad. La más contaminada se ubica en el tramo 1 que comprenden las estaciones de Chihuahua y que es en donde se cuenta con más plantas de tratamiento de aguas residuales y con el mayor caudal tratado (3471 L/s).

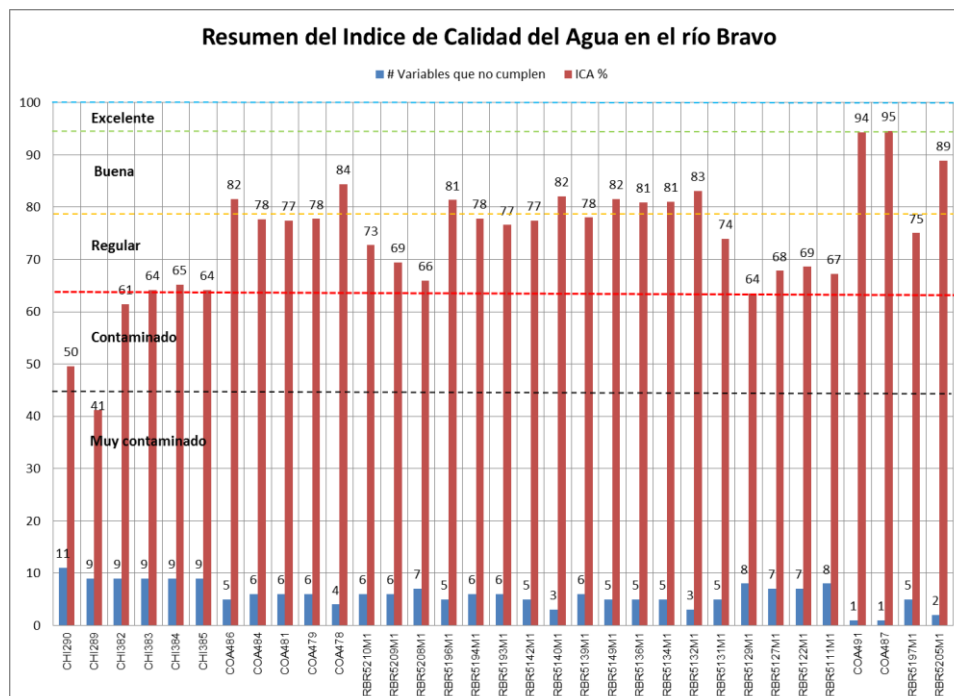


Figura 7.36. Resumen de la clasificación del ICA y la cantidad de variables que no cumplieron con el criterio para el uso en FAAP.

7.5.4 Análisis multivariado de calidad del agua

Las técnicas estadísticas multivariadas son herramientas apropiadas para el manejo de datos de calidad del agua, ya que los programas de monitoreo que incluyen la frecuencia y el muestreo del agua en muchas estaciones, así como la determinación de un gran número de parámetros fisicoquímicos, generan una gran matriz de resultados la cual necesita de un análisis complejo, así como de su interpretación.

La aplicación de un Análisis Cluster (AC) o de conglomerados, y del Análisis de Componentes Principales (ACP), permiten identificar los posibles factores que influyen en el sistema acuático para evidenciar las variaciones espaciales y temporales causadas por factores naturales o antropogénicos.

La Base de Datos proporcionada por la CONAGUA de 34 sitios de monitoreo sobre el cauce principal del río Bravo, analizan 38 parámetros en cada sitio que incluyen de campo, fisicoquímicos, nutrientes, metales y microbiológicos.

Un total de 28 661 observaciones (análisis) se han realizado desde 2012 a julio de 2017 en las 34 estaciones (Figura 7.37); correspondiéndole a las mediciones de campo el 14% (4044), fisicoquímicos el 34% (9720), nutrientes el 24% (7009), metales pesados el 19% (5559) y microbiológicos 8% (2329) (Figura 7.38).

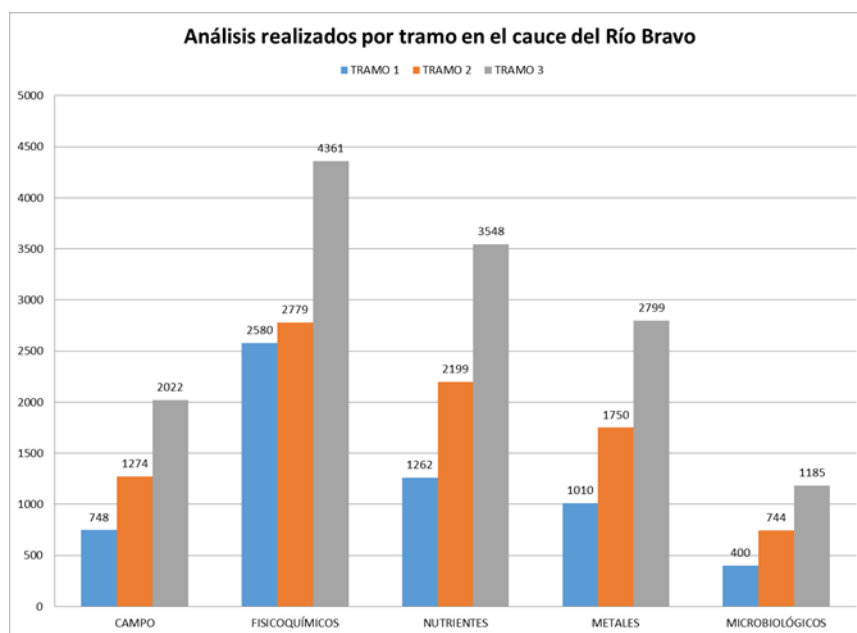


Figura 7.37. Total de análisis realizados por tramo en los 31 sitios de monitoreo.

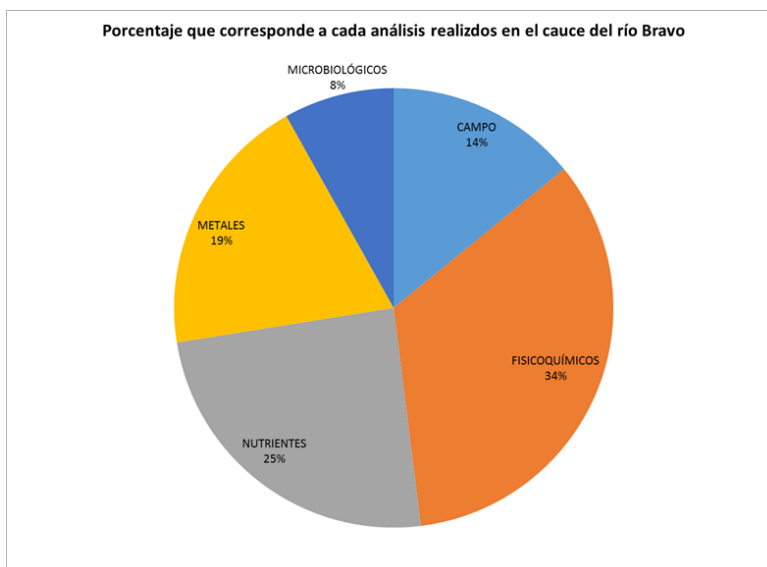


Figura 7.38. Porcentajes de análisis realizados en el cauce del río Bravo.

Se realizó la evaluación de calidad del agua del cauce principal del río Bravo aplicando los análisis estadístico multivariados, el análisis cluster (AC) y el análisis de componentes principales (ACP); el primero permite hacer la evaluación de objetos basados en su similitud agrupando a las estaciones de monitoreo en un dendograma; y el segundo análisis provee información de los parámetros más significativos, los cuales describen del total de parámetros, cuales se reducen con una mínima pérdida de información original. Es una técnica que reconoce patrones que expliquen la varianza de un gran juego de variables inter-correlacionadas en un pequeño grupo de variables independientes.

El análisis cluster o de agrupamiento se presenta en la Figura 7.39 y se observa los sitios de monitoreo que son similares y que se agrupan en cuatro clases (Tabla 5.10).

Tabla 7.10. Resultado del agrupamiento de los sitios de monitoreo en el río Bravo.

Clases	1	2	3	4
Objetos	6	15	12	1
	DLCHI290 DLCHI289 DLCHI382 DLCHI383 DLCHI384 DLCHI385	DLCOA491 DLCOA487 DLCOA486 DLCOA484 DLCOA481 DLCOA479 DLCOA478 OCRBR5197M1 OCRBR5196M1 OCRBR5194M1 OCRBR5193M1 OCRBR5139M1 OCRBR5149M1 OCRBR5136M1	OCRBR5210M1 OCRBR5209M1 OCRBR5208M1 OCRBR5205M1 OCRBR5142M1 OCRBR5140M1 OCRBR5132M1 OCRBR5131M1 OCRBR5129M1 OCRBR5127M1 OCRBR5122M1 OCRBR5111M1	OCRBR5112M1

OCRBR5134M1

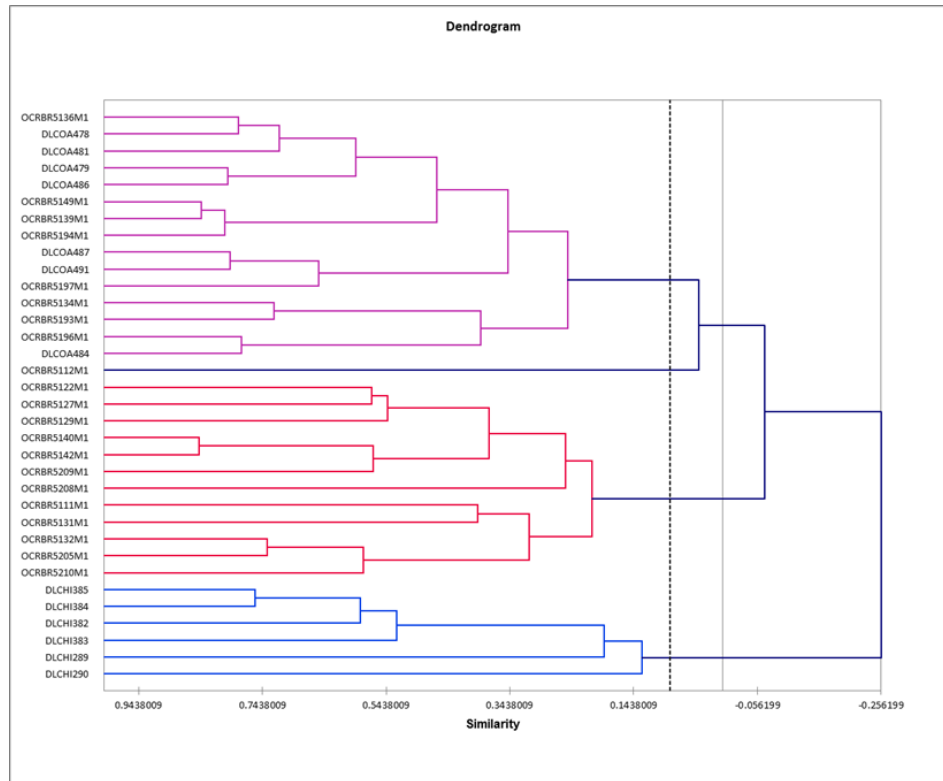


Figura 7.39. Dendrograma que muestra el agrupamiento de los sitios de monitoreo del río Bravo.

El agrupamiento (Cluster) identifica al tramo 1 (líneas azules del dendrograma) como el que presenta mayor contaminación debido a que las concentraciones de conductividad específica, color, DQO, dureza, SDT son las más altas, además de la presencia de metales; seguido del tramo 3 (con varias estaciones) (líneas rojas) y con menor concentración (líneas rosas) que incluyen estaciones del tramo 2 y 3. Queda la estación OCBRB 5112M1 como el de menor similitud, ya que corresponde a la desembocadura del río Bravo al Golfo de México que tiene influencia marina.

El análisis de componentes principales (ACP), resultó que de 30 parámetros analizados de calidad del agua, se agrupan en 7 factores los cuales representan el 85% de la variabilidad, y de éstos, los dos primeros (F1 y F2) explican la variabilidad acumulada de la calidad del agua con el 56% (Figura 7.42).

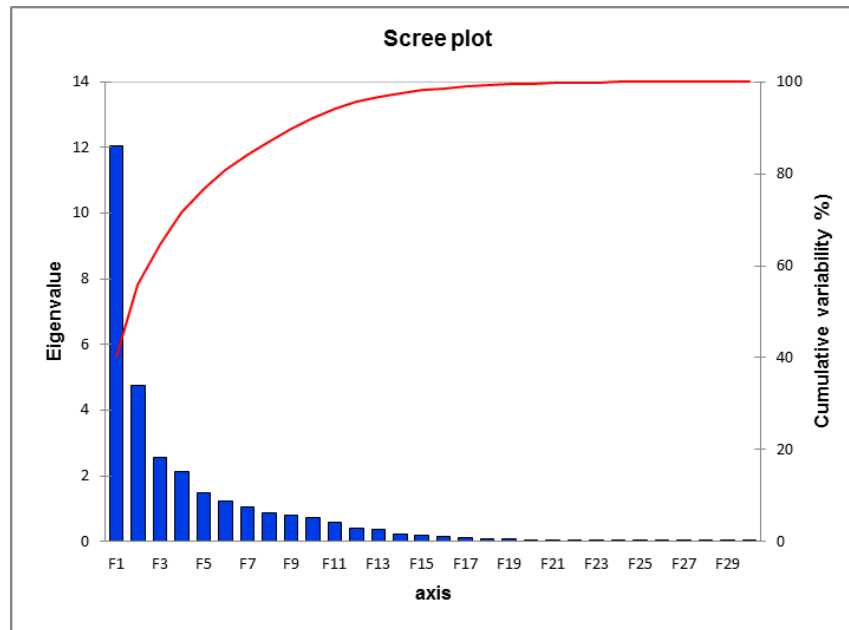


Figura 7.40. Gráfica que representa la acumulación de la variabilidad de los factores (eigenvalores).

Para determinar cuál de las variables de muestreo están relacionadas, la Figura 7.41 muestra la gráfica de los dos factores principales y las observaciones significativas (Tabla 5.11).

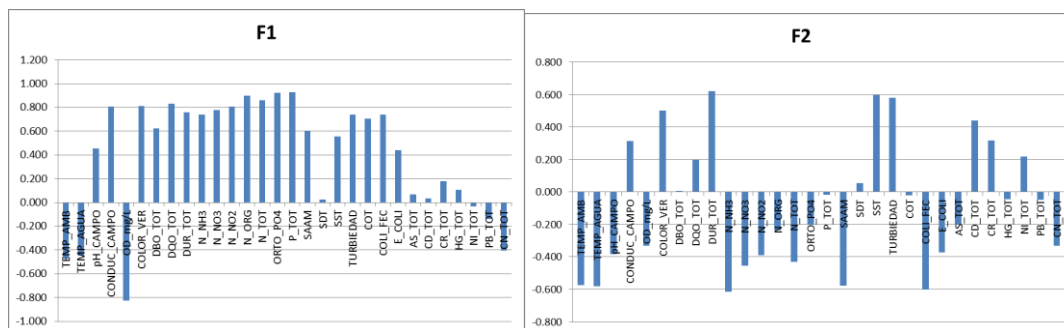


Figura 7.41. Carga factorial (F1 y F2) de las variables relacionadas en el río Bravo.

Tabla 7.11 Correlación entre variables y los Factores del río Bravo.

Variables	F1	F2
TEMP_AMB	-0.474	-0.576
TEMP_AGUA	-0.449	-0.581
pH_CAMPO	0.452	-0.384
CONDUC_CAMPO	0.809	0.315
OD_mg/L	-0.825	-0.331

COLOR_VER	0.812	0.502
DBO_TOT	0.624	0.006
DQO_TOT	0.829	0.199
DUR_TOT	0.758	0.621
N_NH3	0.739	-0.615
N_NO3	0.778	-0.455
N_NO2	0.807	-0.391
N_ORG	0.901	-0.237
N_TOT	0.859	-0.432
ORTO_PO4	0.922	-0.200
P_TOT	0.928	-0.019
SAAM	0.605	-0.577
SDT	0.022	0.053
SST	0.556	0.598
TURBIEDAD	0.741	0.581
COT	0.708	-0.019
COLI_FEC	0.741	-0.602
E_COLI	0.438	-0.373
AS_TOT	0.066	-0.204
CD_TOT	0.032	0.440
CR_TOT	0.178	0.317
HG_TOT	0.108	-0.045
NI_TOT	-0.033	0.217
PB_TOT	-0.139	-0.048
CN_TOT	-0.405	-0.330

Lo anterior identifica que para el Factor 1, las variables relacionadas (≥ 0.8) son: CND, OD, Color, DQO, NO₂, N-org, NT, OrtoP y PT, pueden indicar la entrada de fuentes puntuales y difusas de contaminación al río; mientras que el Factor 2 identifica a las variables relacionadas (≥ 0.6) que son: Dureza, NH₃ y Coliformes Fecales.

La Figura 7.42, muestra la correlación entre los dos Componentes Principales (Factores 1 y 2) con los sitios de monitoreo, marcando en el recuadro los sitios relacionados con los parámetros de calidad del agua que representan los de mayor contaminación y que se ubican en tramo 1 y en el tramo 3 cercanos a las poblaciones de Ciudad Juárez, Reynosa y Matamoros.

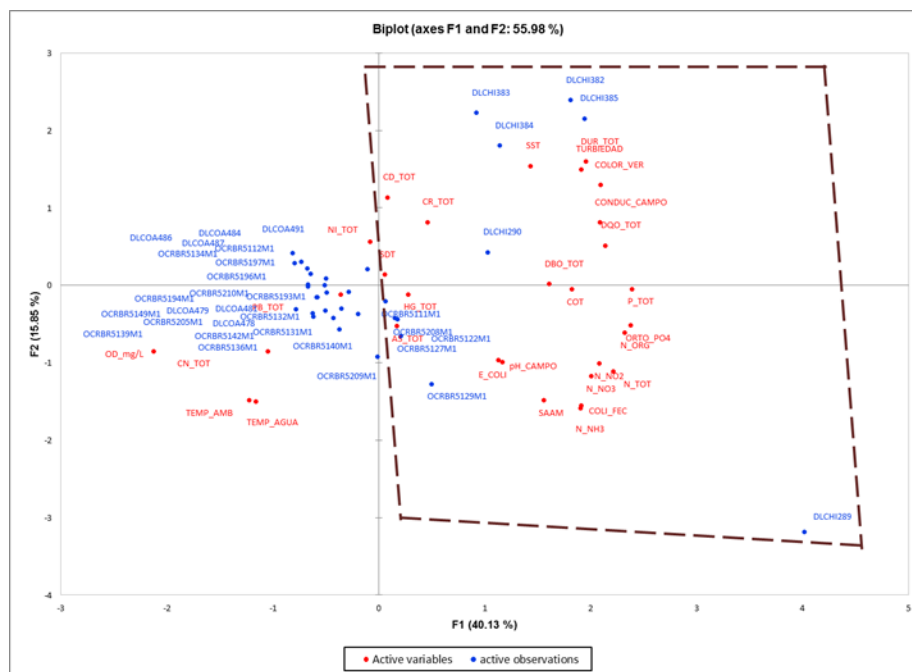


Figura 7.42. Componentes principales y su correlación con las variables y observaciones en el río Bravo.

7.5.5 Conclusiones

La evaluación histórica de la calidad del agua de río Bravo utilizando análisis estadísticos paramétricos y no paramétricos, identificó zonas de aportación de posibles fuentes de contaminación puntual y no puntual que afectan la calidad del agua del río.

La calidad del agua de mayor contaminación a menor contaminación se localizan en el tramo 1, seguido del tramo 2 y tramo 3; que corresponde a las estaciones que se ubican en el Estado de Chihuahua, Coahuila y Tamaulipas, respectivamente.

Existen 30 plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) en la zona transfronteriza del río Bravo, de éstas en el tramo 1 se tienen 13 que tratan cerca de 3471 l/s, sin embargo no es suficiente para disminuir la contaminación, o la operación de las mismas probablemente sea deficiente.

Es importante mejorar y actualizar los procesos de las PTAR, para remover los contaminantes que fueron identificados, como los SDT, nutrientes y los dos metales pesados.

La continuidad en los monitoreos que realiza la CONAGUA es necesaria y prioritaria para la cuenca del río Bravo, ya que es la forma de identificar que las acciones de saneamiento que se realicen están disminuyendo los aportes de contaminantes al río.

Posiblemente se puedan disminuir algunos parámetros fisicoquímicos, de acuerdo al análisis de componentes principales, una vez que se revisen los recursos económicos con que se cuente.

7.5.6 Propuesta de Estrategias

Con el análisis de la información histórica de calidad del agua en el río Bravo y tomando en cuenta que el uso del agua debe tener una calidad aceptable para sostener la vida y la salud humana, así como proteger los ecosistemas con un enfoque de cuenca; se plantean las siguientes estrategias y líneas de acción.

7.6 AGUA SUBTERRÁNEA

En los años recientes se ha detectado la existencia del fenómeno antropogénico de sobreexplotación de acuíferos. Este término significa, de manera resumida, que la extracción de agua del subsuelo es mayor a la capacidad de recarga de los acuíferos. Los acuíferos que revisten gran importancia en este aspecto, son los cuerpos de agua subterráneos profundos o inferiores.

Los efectos que se presentan por esta sobreexplotación son la disminución del flujo base, reducción de la cámara de bombeo, problemas en la estabilidad de los suelos y deterioro de la calidad del agua, entre otros.

En la región VI se tiene una gran competencia por el uso del agua, debido a que el agua superficial se encuentra comprometida en su totalidad, la precipitación es escasa y la evaporación potencial es muy elevada.

En vista de lo anterior el agua subterránea ha tenido una demanda creciente que ha dado lugar a la sobreexplotación de algunos acuíferos.

Las principales actividades que se llevan a cabo en la región son, en orden decreciente: la industria, la agricultura, la ganadería y la silvicultura; por lo que las demandas para el abastecimiento de agua a las poblaciones, la industria y la agricultura son bastante considerables.

El uso urbano-industrial se presenta principalmente en las ciudades de Monterrey, Ciudad Juárez, Chihuahua, Monclova, Nueva Rosita y Saltillo, y los principales centros agrícolas son Delicias, Aldama, Villa Ahumada, Valle de Juárez, Cuauhtémoc, Janos y Casas Grandes en el Estado de Chihuahua; el Bajo Bravo y el Bajo San Juan de Tamaulipas, Don Martín en Nuevo León y Palestina en Coahuila.

Los tipos de acuíferos predominantes en la región son:

- Cuencas terciarias (sedimentos lacustres y conglomerados intercalados).
- Calizas (rocas calizas cetácicas).

En la Tabla 1 se muestran los sitios que definen la ubicación de los acuíferos considerados en la Región VI “Frontera Norte”, mientras que en la Figura 7.6.1 se presenta un mapa indicador de las zonas de aguas subterráneas distinguiendo los dos tipos existentes en la región.

Los acuíferos están constituidos por rellenos, e indirectamente, algunos se han desarrollado en rocas carbonatadas (tipo calizas), como los localizados en los estados de Nuevo León y Coahuila.

Tabla 7.6.1 **Sitios Correspondientes a la Zonificación de Aguas Subterráneas de la Región VI**

ZONA	LOCALIZACIÓN
1a	S E Múzquiz, Coah. (Profundidad de 300 a 900m) Delicias, Chih. (parte) Reynosa-Río Bravo, Tamps. "Zona Norte". Río Bravo-18 de Marzo-Matamoros, Tamps.
1b	Ciudad Juárez, Chih. Villa Ahumada, Chih. Delicias, Chih. (parte) Montemorelos-Terán, N.L.
1c	Sierra Minas Viejas, N.L. Sierra La Silla, N.L. Sierra Madre Oriental, Coah.
2a	Juárez, Chih. Casas Grandes, Chih.
2b	Aldama, Chih. Delicias, Chih. (parte) Cuauhtémoc, Chih. (norte) Peñol, Chih. Nadadores-Escobedo, Coah. Monclova, Coah. (Oeste) Saltillo-Ramos Arizpe, Coah. Monterrey-Villa, Aldama-Sabinas-Hidalgo-Cerralvo- Ramones-Allende, N.L.
3a	Janos-Ascención, Chih. (parte)
3b	Piedras Negras, Coah. Sacramento, Coah. (Norte de Monclova) Nueva Rosita, Sabinas-Palau-Hermanas-Progreso- Zacatoza-Guerrero, Coah. Noreste Sierra Minas Viejas, N.L.

	Baján, Coah. (sur de Monclova) este del estado de N.L., General Treviño, Los Aldama, Melchor Ocampo, Doctor Coss, Los Herrera, General Bravo y China.
3c	Samalayuca, Chih. Cuatro Ciénegas, Coah.
5	Villa Acuña, Coah.

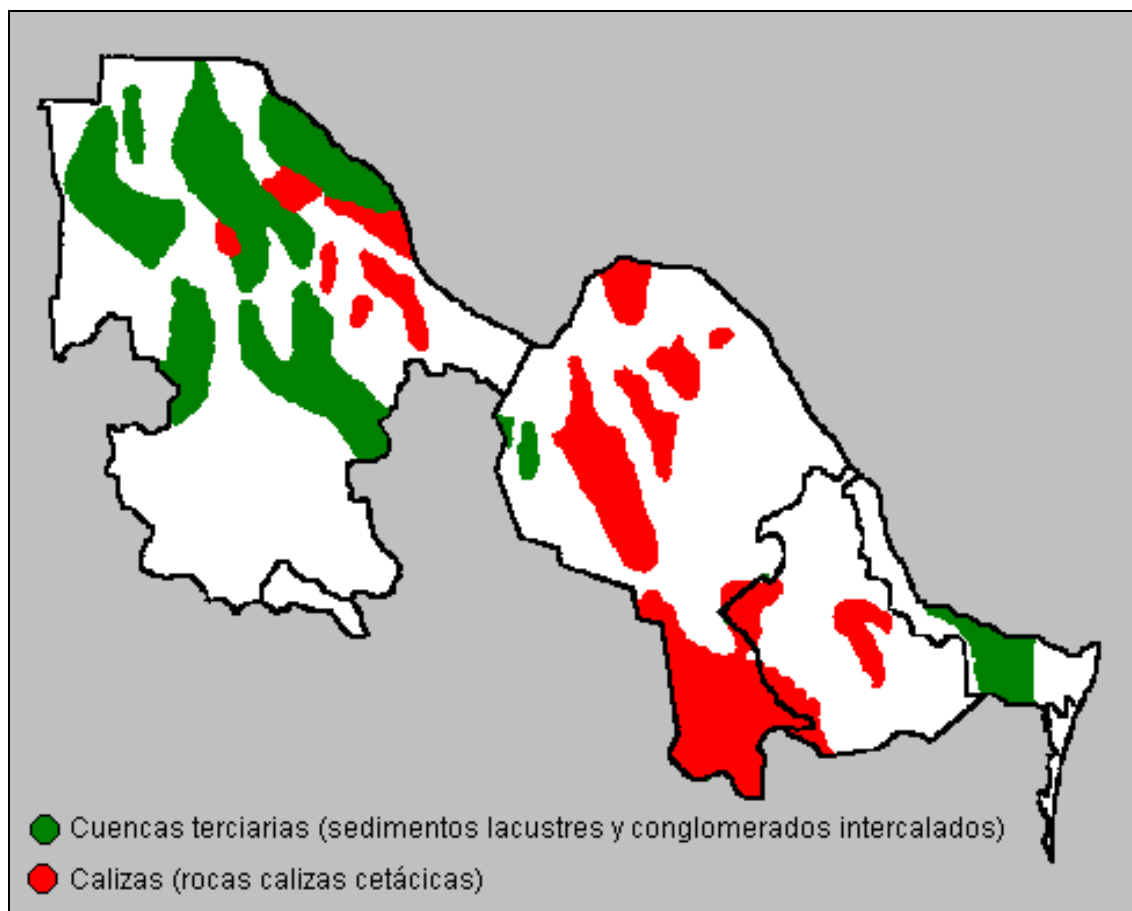


Figura 7.6.1. Tipos de acuíferos

De estas zonas algunas han sido identificadas con características de sobreexplotación de acuíferos, observada por el abatimiento de niveles. Las zonas identificadas son:

- ⇩ Valle de Juárez.
- ⇩ Valle Ahumada.
- ⇩ Janos - Casas Grandes.
- ⇩ Aldama.
- ⇩ Jiménez.

En la Figura 7.6.2 se presenta de manera gráfica la ubicación aproximada de ellas, pudiendo observar que corresponde a acuíferos con tipo de cuencas terciarias.

7.6.1 EFECTOS OCASIONADOS EN EL ABATIMIENTO DE NIVELES



Figura 7.6.2. Principales zonas de sobreexplotación de acuíferos

En los siguientes párrafos se describen los principales problemas que han sido ocasionados por la sobreexplotación de los acuíferos.

Valle de Juárez (Ciudad Juárez), Chih.

La sobreexplotación media anual del acuífero de Valle de Juárez es de 14 millones de m³ con un abatimiento medio anual de 0.86 m.

El acuífero que abastece de agua a Ciudad Juárez, ha registrado abatimientos de nivel estático que van de 0.50 a 20 m. Las consecuencias son: disminución del espesor saturado e incremento en los costos de bombeo que hacen crítico el abastecimiento a esta ciudad.

Villa Valle Ahumada, Chih.

La sobreexplotación media anual del acuífero de Villa Valle Ahumada es de 123 millones de m³.

El principal problema que presenta es el abatimiento local del nivel estático en los valles Alamos de Peña Juárez y Villa Ahumada. Se han desarrollado labores de relocalización de las zonas de bombeo para poder continuar con el ritmo de explotación actual.

Valle Janos (Janos), Chih.

La sobreexplotación media anual del acuífero de Valle Janos es de 33 millones de m³ con un abatimiento medio anual de 1 m.

Aunque la información disponible es escasa, se sabe que esta zona está explotada en exceso. El nivel estático ha descendido paulatinamente causando disminución en el espesor saturado e incremento en los costos de bombeo que hacen crítico el abastecimiento de agua a la ciudad de Janos, Chih.

Valle Janos (Casas Grandes), Chih.

La sobreexplotación media anual del acuífero de Valle Janos que abastece a la ciudad de Casas Grandes, Chih., es de 1 millón de m³ con un abatimiento medio anual de 2 m.

El nivel estático acusa un descenso progresivo. Sin embargo, el fuerte espesor del acuífero (300 m) permite que el ritmo de explotación actual continúe hasta que el costo del bombeo se vuelva prohibitivo.

Valle Aldama, Chih.

La sobreexplotación media anual del acuífero de Valle Aldama es de 9 millones de m³.

Actualmente es zona de veda ya que desde hace 20 años se detectó la sobreexplotación. Sin embargo, la explotación continúa, aunque en menor caudal, debido a que la agricultura depende casi en su totalidad del agua subterránea. Las consecuencias son: disminución del espesor saturado e incremento en las columnas y costos de bombeo.

Campo de pozos de Mina, N. L.

La sobreexplotación media anual del acuífero es de 2 millones de m³ con un abatimiento medio anual de 0.70 m.

La explotación excedente ha generado abatimientos progresivos, lo que se traduce en incremento en costos de bombeo y deficiencia en el abastecimiento de agua potable a la ciudad de Monterrey.

/// Calidad del agua

La calidad del agua en los acuíferos de relleno es en general aceptable, sin embargo, existen varios sitios donde se han detectado concentraciones excesivas de sales solubles. En lo que respecta a los acuíferos en calizas y rocas volcánicas, el agua que poseen es casi siempre de excelente calidad, aunque también se han identificado áreas con problemas de agua salobre.

La presencia de zonas con agua salada que ocupan grandes superficies planas, son un problema pues no pueden utilizarse para agricultura por un lado, y por otro representan fuentes de contaminación para zonas vecinas en explotación intensiva.

Principalmente en las partes más bajas de los grandes bolsones se presentan zonas con agua de alta salinidad, que impide la utilización de éstos en la mayoría de los casos (en algunas partes se usan para la extracción de sales) y además pueden provocar la contaminación de otros acuíferos al inducir la migración del agua de mala calidad como consecuencia de la explotación intensiva en áreas cercanas; este es el caso del norte de Aldama donde se localiza una zona con agua salada que ha contaminado los pozos cercanos a ella.

En el valle de Juárez se tienen también problemas de esta naturaleza, siendo el caso del agua subterránea procedente de la Sierra de San Ignacio que se contamina al pasar por una zona de agua salada, comprendida entre dicha zona y el Río Bravo.

Aún cuando los acuíferos en rocas calcáreas se encuentran generalmente sujetos a problemas de contaminación por desechos urbanos e industriales, en la zona de estudio estos problemas son mínimos, debido a la localización de las zonas de recarga en las partes altas de las sierras. Sin embargo, en algunas partes se tienen aguas con alta salinidad asociada a zonas yesíferas, como es el caso del área de Cuatro Ciénegas, Coahuila.

En la zona del Bajo Bravo y Bajo San Juan, se tienen serios problemas de contaminación salina causada por el bombeo intensivo que provoca a su vez la migración de agua salina contenida en intervalos arcillosos que se encuentran subyaciendo a los espesores explotados. En la vecindad de Río Bravo, en los primeros 150 m de profundidad las concentraciones salinas son aceptables.

En la tabla 2 se presentan las zonas de aguas subterráneas en las cuales se han detectado problemas de calidad del agua, mientras que en la Figura 7.6.3 se muestra un esquema indicando estas zonas.

Tabla 7.6.2 Sitios con problemas de Calidad del Agua Subterránea

ZONA	LOCALIZACIÓN
1a	Río Bravo-18 de Marzo-Matamoros, Tamps.
2a	Juárez, Chih.
2b	Nadadores-Escobedo, Coah.
3b	Baján, Coah. (sur de Monclova) este del estado de N.L.,
3c	Cuatro Ciénegas, Coah.

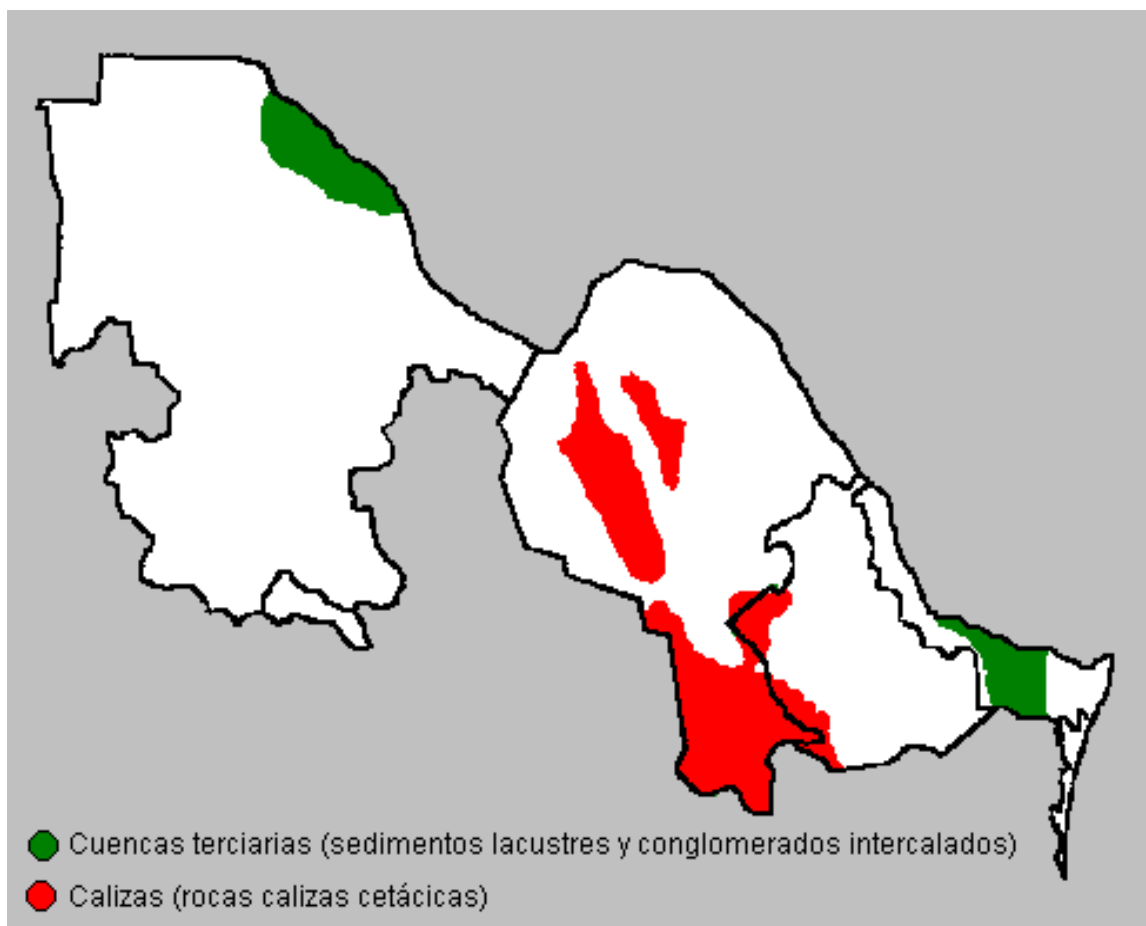


Figura 7.6.3. Acuíferos con problemas de calidad del agua

De las evaluaciones que se han realizado, se sabe que las aguas subterráneas de el noroeste de la región VI, se tienen aguas de suaves, es decir, con dureza total de menos

de 50 mg/l como CaCO_3 y la zona correspondiente a Durango dentro de la región (municipio de Ocampo) se tienen aguas muy duras, es decir, con durezas totales mayores a 300 mg/l.

En la Figura 7.6.4 se muestra el área abarcada con estas características. Las zonas no marcadas aún no han sido evaluadas.

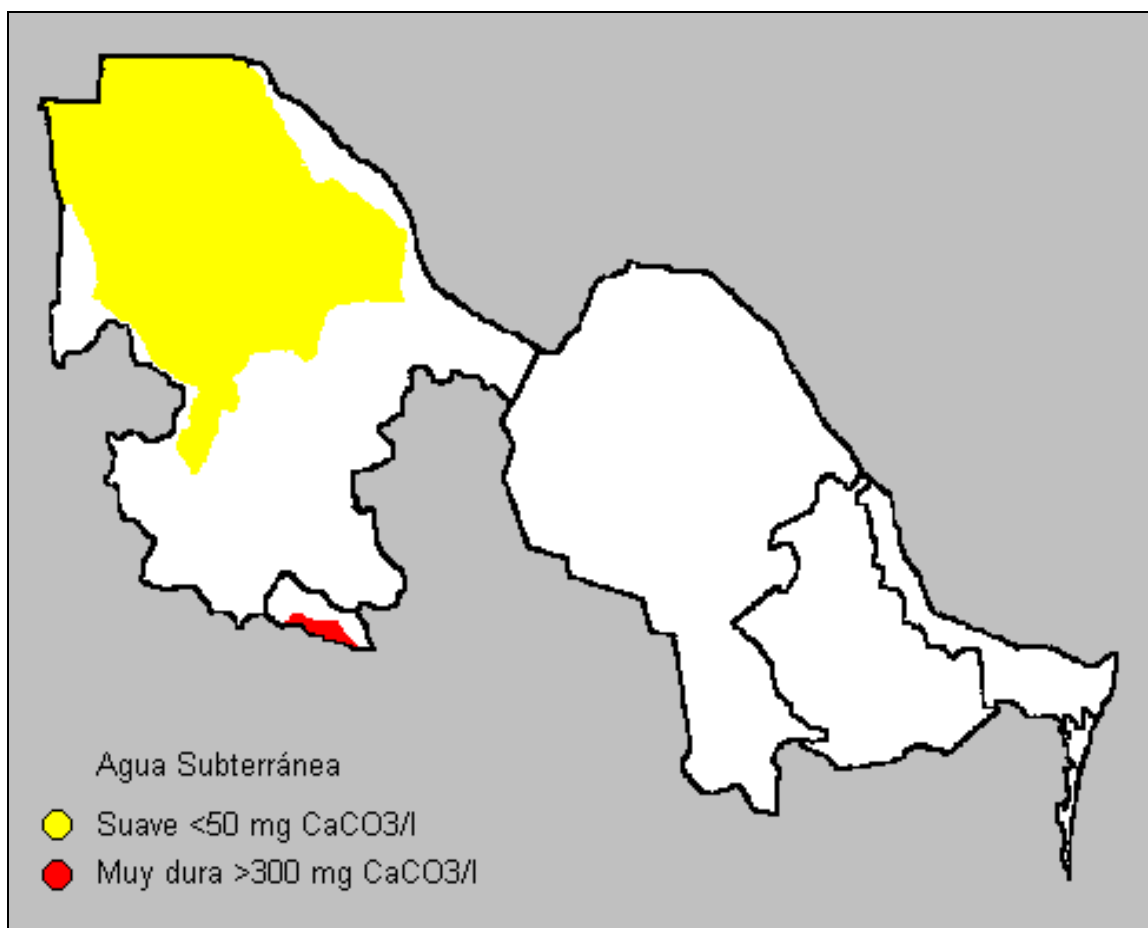


Figura 7.6.4. Comportamiento de la dureza total en agua subterránea

Por otro lado, el parámetro “conductividad eléctrica”, indicador indirecto de la concentración de sales inorgánicas, muestra niveles de salinización del agua en varias zonas con cuerpos de agua subterráneos. La zonificación de esta región obedece a los rangos del criterio de calidad del agua.

Se sabe además que en gran parte de la región se tienen grandes extensiones con aguas de concentración salina superior a 2000 ppm de sólidos totales disueltos, lo cual se explica en una región árida como ésta. Las zonas con problemas de salinización son:

- *Salinización severa*, entre 3 y 5 mmhos/cm en Valle de Juárez, Reynosa y Río Bravo.

- *Salinización moderada*, entre 2 y 3 mmhos/cm en las zonas al sur de Reynosa y Río Bravo.
- *Salinización ligera*, de cerca de 2 mmhos/cm en Valle Ahumada, Frontera Coahuila - Chihuahua, excepto colindancia con el río Bravo, norte y centro de Coahuila, excepto colindancia con el río Bravo y Matamoros.

En la Figura 7.6.5 se muestra un esquema indicativo de la situación de salinización del agua subterránea en la región.

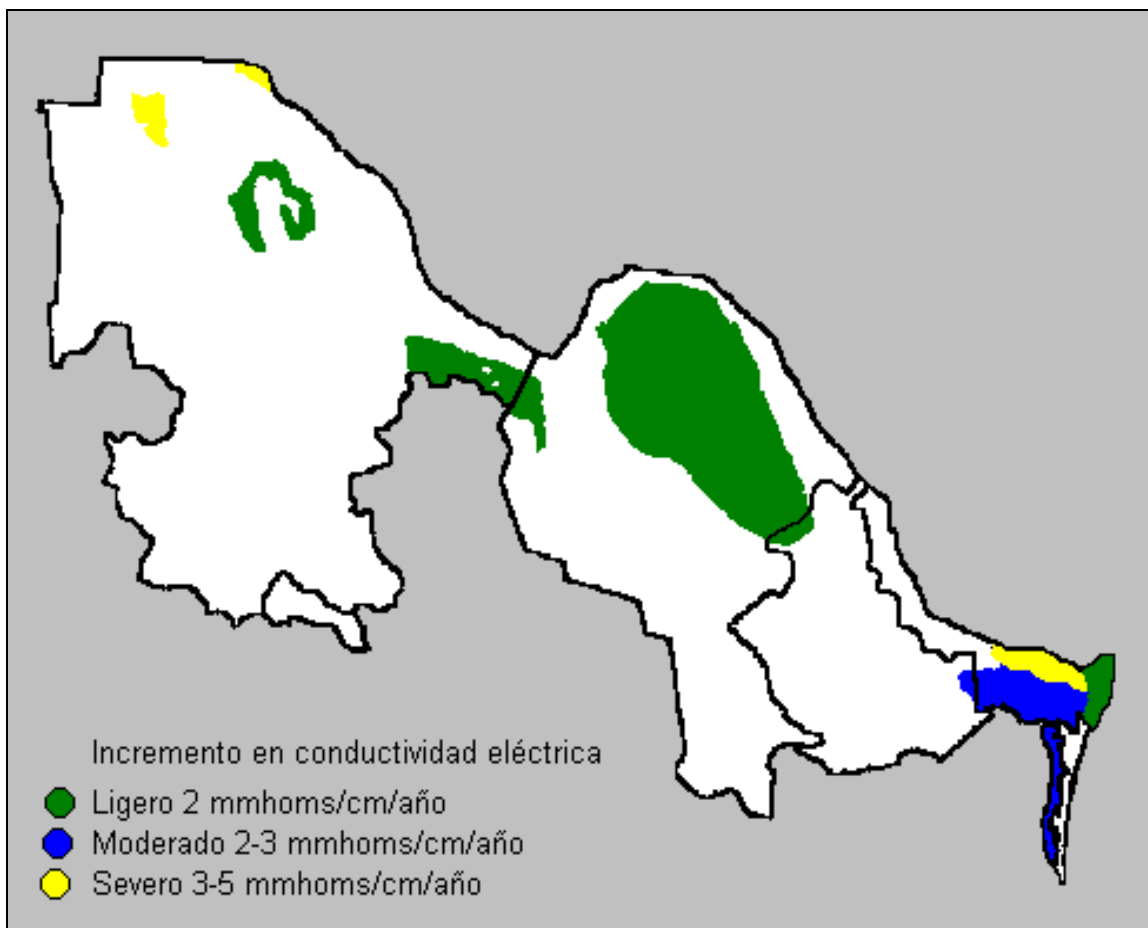


Figura 7.6.5. Salinización

ESTRATEGIAS	OBJETIVOS	LINEAS DE ACCIÓN
I Reducir la contaminación industrial y municipal	1.1 Base de datos actualizada de las industrias por municipios	1.1.1 Elaborar un mapa de las industrias y giros correspondientes
		1.1.2 Listado de compuestos y productos utilizados por giro industrial
		1.1.3 Actualizar los sitios de descargas de aguas residuales
		1.1.4 Actualizar la información de las plantas de tratamiento industriales y estado de operación
		1.1.5 Esquema de saneamiento sustentable y sostenible
		1.1.6 Incentivos fiscales a la industria para que mejoren la calidad de sus descargas
	1.2 Diagnóstico actualizado de las plantas de tratamiento municipales	1.2.1 Zonificación de las aportaciones de colectores, alcantarillado y población que llega a cada planta de tratamiento municipal
		1.2.2 Que los colectores viertan sus agua a plantas de tratamiento y una vez tratada que descarguen al río
		1.2.3 Investigar mejores tecnologías de tratamiento y posible reuso del agua tratada
1.3 Solicitud de recursos económicos para el control de la contaminación	1.3.1 Priorizar los recursos económicos de acuerdo a las zonas de contaminación identificadas	
	1.3.2 Promover integralmente los tres Estados, fuentes alternativas de financiamiento para proyectos de investigación y estudios	
	1.3.3 Asegurar la transparencia y rendición de cuentas en la aplicación de los recursos económicos	
II Seguimiento y vigilancia	2.1 Continuar con el monitoreo de la calidad del agua en el río	2.1.1 Programa tomando en cuenta los parámetros analizados
		3.1.1 Aplicar mejores práctica de manejo de las áreas agrícolas
		3.1.2 Controlar y disminuir los aportes de aguas residuales al sistema

III Protección del ecosistema acuático	3.1 Disminuir aportes de fuentes puntuales y difusas	3.1.3 Reuso del agua residual tratada
		3.1.4 Restaurar los hábitats perdidos a nivel de cuenca
		3.1.5 Promover la protección y el uso sostenible del agua

8. ANÁLISIS DEL CRECIMIENTO DE LA DEMANDA DE AGUA PARA USO POTABLE, INDUSTRIAL Y AGRÍCOLA EN LA CUENCA DEL RÍO BRAVO

Se realizó un análisis de la información de usos del agua entre el año 2005 y 2015 para establecer la tendencia de crecimiento en las cuencas para los usos de agua potable, industrial y agrícola de la cuenca del Río Bravo. Asimismo con base en las proyecciones de población obtenidas de Conapo se generaron escenarios de crecimiento de la demanda de agua para uso público-urbano y doméstico hacia el año 2030.

A continuación se muestra la figura 6.1, en la cual se observa que la Región de la Cuenca del Río Bravo abarca 5 estados del norte del país, los cuales son: Coahuila, Chihuahua, Durango Nuevo León y Tamaulipas.

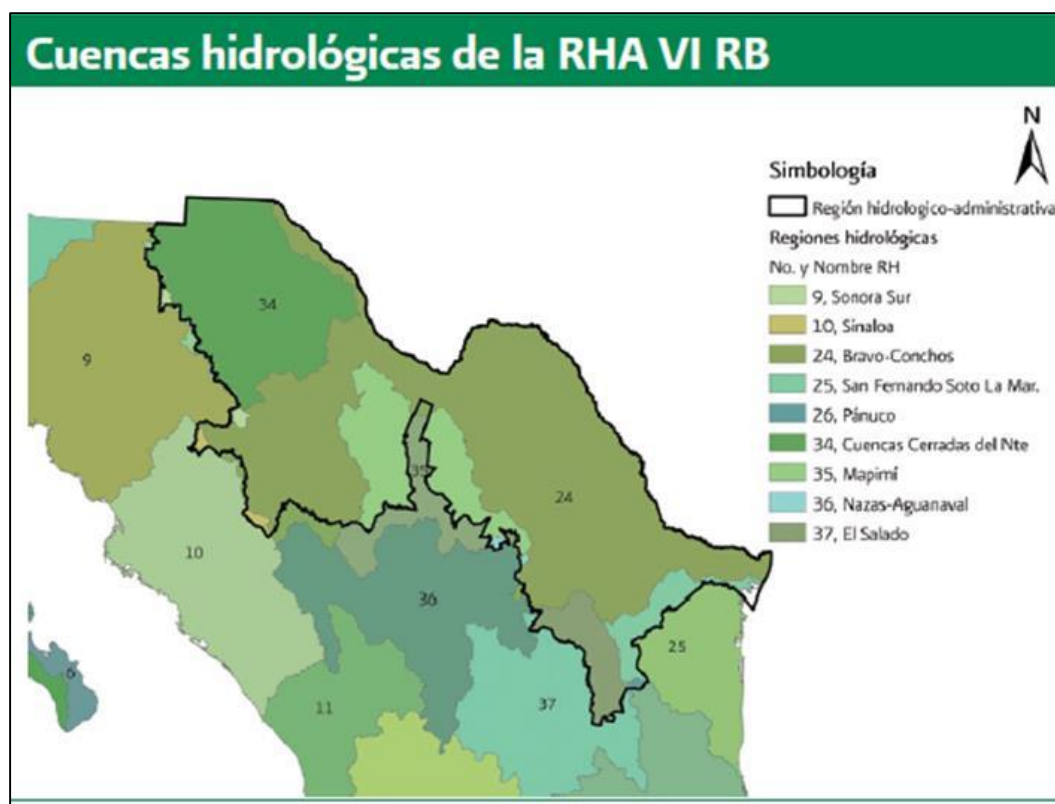


Figura 8.1. Estados que forman parte de la Cuenca del Río Bravo

6.1 ANÁLISIS DEL CRECIMIENTO DE LA DEMANDA DE AGUA PARA USO POTABLE EN LA CUENCA DEL RÍO BRAVO

Para poder atender la problemática de abastecimiento de agua potable que se tiene en la cuenca del Río Bravo se realizó el análisis del crecimiento de las poblaciones que están situadas en la misma las cuales se muestra en la tabla 6.1.

Tabla 6.1 Estados y Municipios de la Cuenca del Río Bravo

Estado	Municipios
Coahuila	31
Chihuahua	52
Nuevo León	51
Tamaulipas	10
Total	144

Tabla 6.2 Crecimiento de las poblaciones de los municipios del Río Bravo, 2010 al 2030

Localidad	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Coahuila	1,791,834	1,815,512	1,839,308	1,862,771	1,886,028	1,909,005	1,931,705
Chihuahua	3,251,147	3,283,401	3,320,587	3,355,414	3,390,275	3,424,456	3,457,931
Nuevo León	4,723,273	4,797,263	4,868,844	4,941,059	5,013,589	5,085,848	5,157,780
Tamaulipas	1,765,240	1,788,937	1,813,394	1,837,605	1,861,663	1,885,469	1,909,007
Total	11,531,493	11,685,113	11,842,132	11,996,849	12,151,555	12,304,778	12,456,423

Localidad	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Coahuila	1,954,173	1,976,338	1,998,118	2,019,508	2,040,568	2,061,357	2,081,824
Chihuahua	3,490,913	3,522,977	3,553,766	3,583,316	3,612,191	3,640,901	3,669,124
Nuevo León	5,229,492	5,300,619	5,370,849	5,440,277	5,509,070	5,577,392	5,645,118
Tamaulipas	1,932,313	1,955,303	1,977,896	2,000,062	2,021,942	2,043,680	2,065,189
Total	12,606,891	12,755,237	12,900,629	13,043,163	13,183,771	13,323,330	13,461,256

Localidad	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Coahuila	2,101,950	2,121,707	2,141,063	2,159,997	2,178,498	2,196,553	2,214,111
Chihuahua	3,696,836	3,723,977	3,750,484	3,776,348	3,801,571	3,826,131	3,849,961
Nuevo León	5,712,197	5,778,562	5,844,150	5,908,917	5,972,821	6,035,811	6,097,769
Tamaulipas	2,086,431	2,107,358	2,127,923	2,148,109	2,167,909	2,187,288	2,206,170
Total	13,597,414	13,731,604	13,863,620	13,993,370	14,120,798	14,245,782	14,368,012

Fuente: Elaboración IMTA, con información de Proyección de Población de Conapo al 2030

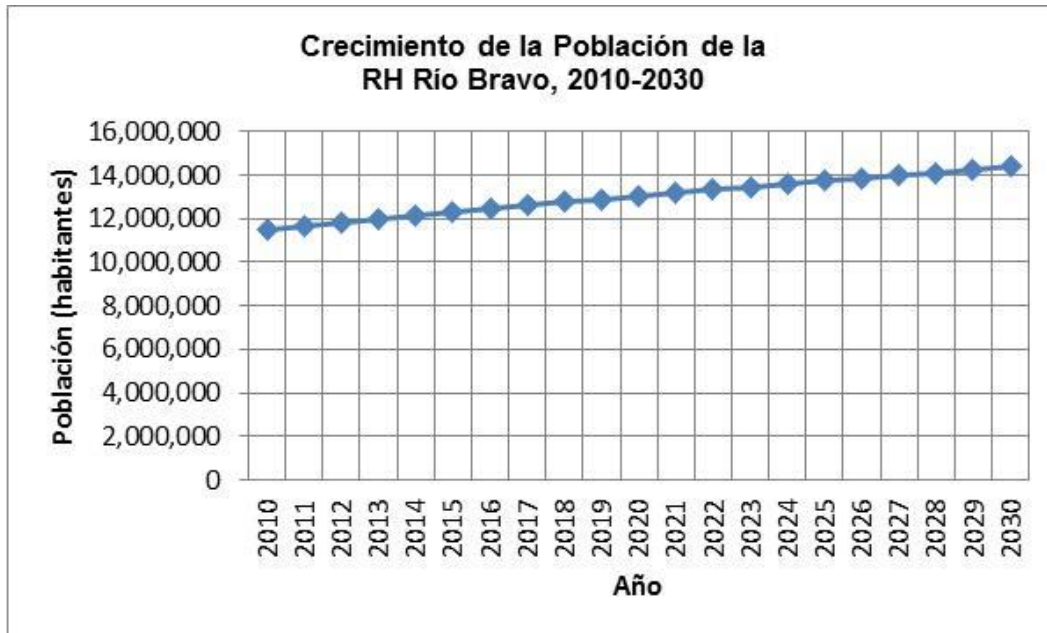


Figura 8.2. Crecimiento de la población del Río Bravo, 2010 al 2030

Fuente: Elaboración IMTA, con información de Proyección de Población de Conapo al 2030

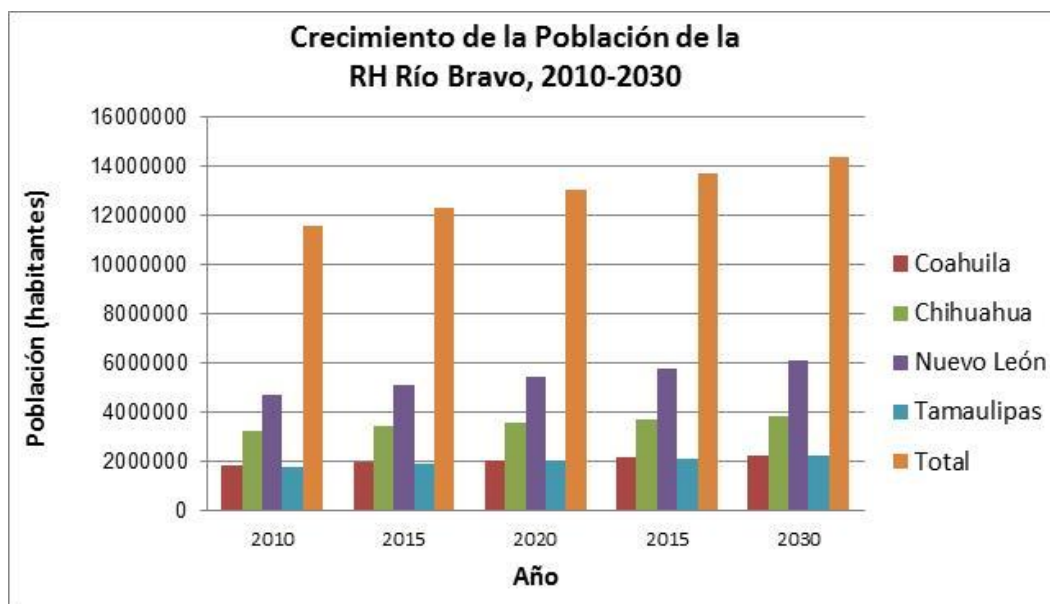


Figura 8.3. Crecimiento de la población por estados del Río Bravo, 2010 al 2030

Fuente: Elaboración IMTA, con información de Proyección de Población de Conapo al 2030

6.1.2.1 Proyección del crecimiento de las zonas metropolitanas de las poblaciones de los municipios del Río Bravo 2010-2030

En la cuenca del Río se tienen identificadas nueve zonas metropolitanas (ZM) las cuales son: en el estado de Coahuila: Saltillo, Monclova-Frontera, Piedras Negras; en el estado de Chihuahua: Juárez y Chihuahua, En el estado de Nuevo León: Monterrey y en el estado de Tamaulipas: Reynosa-Río Bravo, Matamoros y Nuevo Laredo. Estas zonas metropolitanas representan el 81%, de la población total del Río Bravo, lo que representa una atención especial debido a los requerimientos de abastecimiento de agua potable, teniéndose la Zona Metropolitana de Monterrey como el principal polo de crecimiento poblacional con el 46% del total de la Cuenca del Río Bravo.

A continuación se muestra la tabla 6.3 y figura 6.4, el crecimiento de las ZM del Río Bravo.

Tabla 6.3 Crecimiento de las ZM de poblaciones de los Municipios del Río Bravo, 2010 al 2030

Zona Metropolitana	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Saltillo	833 134	847 971	862 119	875 528	888 386	900 756	912 716
Monclova-Frontera	321 301	324 534	327 949	331 429	334 963	338 517	342 071
Piedras Negras	182 879	184 034	185 519	187 216	189 085	191 074	193 152
Juárez	1 378 110	1 381 953	1 390 525	1 400 079	1 411 179	1 423 166	1 435 761
Chihuahua	882 808	897 881	912 820	925 970	938 237	949 606	960 211
Monterrey	4 167 696	4 229 681	4 290 305	4 352 150	4 414 800	4 477 614	4 540 429
Reynosa-Río Bravo	741 889	756 802	771 107	784 576	797 411	809 688	821 492
Matamoros	498 952	503 304	508 331	513 657	519 226	524 951	530 780
Nuevo Laredo	391 649	395 819	400 343	404 968	409 688	414 461	419 266
Total	9 398 418	9 521 980	9 649 019	9 775 572	9 902 976	10 029 834	10 155 879
Zona Metropolitana	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Saltillo	924 348	935 663	946 660	957 363	967 823	978 085	988 141
Monclova-Frontera	345 617	349 131	352 590	355 988	359 331	362 625	365 861
Piedras Negras	195 299	197 488	199 695	201 908	204 123	206 338	208 542
Juárez	1 448 859	1 462 133	1 475 322	1 488 357	1 501 411	1 514 652	1 527 908
Chihuahua	970 211	979 563	988 223	996 241	1 003 803	1 011 076	1 017 990
Monterrey	4 603 254	4 665 693	4 727 410	4 788 437	4 848 880	4 908 851	4 968 217
Reynosa-Río Bravo	832 911	843 968	854 674	865 052	875 199	885 207	895 064
Matamoros	536 685	542 609	548 505	554 344	560 145	565 931	571 665
Nuevo Laredo	424 098	428 927	433 726	438 482	443 220	447 963	452 687
Total	10 281 281	10 405 175	10 526 806	10 646 172	10 763 934	10 880 729	10 996 074
Zona Metropolitana	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030

Saltillo	997 990	1 007 620	1 017 030	1 026 231	1 035 221	1 043 993	1 052 523
Monclova-Frontera	369 035	372 145	375 187	378 157	381 056	383 880	386 622
Piedras Negras	210 728	212 891	215 022	217 109	219 149	221 141	223 080
Juárez	1 541 132	1 554 250	1 567 176	1 579 873	1 592 323	1 604 498	1 616 344
Chihuahua	1 024 559	1 030 791	1 036 738	1 042 457	1 047 962	1 053 259	1 058 345
Monterrey	5 026 910	5 084 852	5 142 007	5 198 366	5 253 889	5 308 531	5 362 187
Reynosa-Río Bravo	904 776	914 339	923 741	932 988	942 086	951 030	959 789
Matamoros	577 322	582 883	588 333	593 663	598 865	603 925	608 825
Nuevo Laredo	457 376	462 012	466 577	471 063	475 466	479 773	483 963
Total	11 109 827	11 221 781	11 331 811	11 439 908	11 546 017	11 650 031	11 751 679

Fuente: Elaboración IMTA, con información de Proyección de Población de Conapo al 2030

6.1.3 Proyección de la demanda de agua potable de las poblaciones del Río Bravo 2010-2030

Tabla 6.4 Proyección de la demanda de Agua (hm³) de la población por estado del Río Bravo, 2010 al 2030

Estado	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Coahuila	196.21	198.80	201.40	203.97	206.52	209.04	211.52
Chihuahua	356.00	359.53	363.60	367.42	371.24	374.98	378.64
Nuevo León	517.20	525.30	533.14	541.05	548.99	556.90	564.78
Tamaulipas	193.29	195.89	198.57	201.22	203.85	206.46	209.04
Total	1,262.70	1,279.52	1,296.71	1,313.65	1,330.60	1,347.37	1,363.98

Estado	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Coahuila	213.98	216.41	218.79	221.14	223.44	225.72	227.96
Chihuahua	382.25	385.77	389.14	392.37	395.53	398.68	401.77
Nuevo León	572.63	580.42	588.11	595.71	603.24	610.72	618.14
Tamaulipas	211.59	214.11	216.58	219.01	221.40	223.78	226.14
Total	1,380.45	1,396.70	1,412.62	1,428.23	1,443.62	1,458.90	1,474.01

Estado	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Coahuila	230.16	232.33	234.45	236.52	238.55	240.52	242.45
Chihuahua	404.80	407.78	410.68	413.51	416.27	418.96	421.57
Nuevo León	625.49	632.75	639.93	647.03	654.02	660.92	667.71
Tamaulipas	228.46	230.76	233.01	235.22	237.39	239.51	241.58
Total	1,488.92	1,503.61	1,518.07	1,532.27	1,546.23	1,559.91	1,573.30

Fuente: Elaboración IMTA

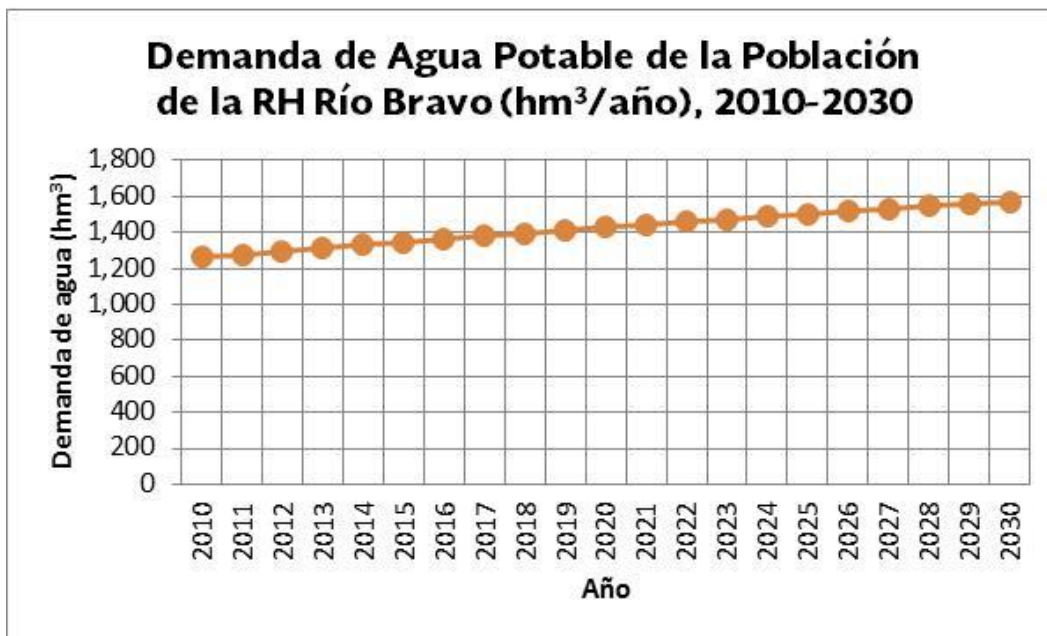


Figura 8.4. Crecimiento de la demanda de agua de las poblaciones del Río Bravo, al 2030

Fuente: Elaboración IMTA, con Proyección de Población de Conapo al 2030

6.1.3.1 Proyección del crecimiento de la demanda de agua potable de las zonas metropolitanas de las poblaciones de los municipios del Río Bravo 2010-2030

En la cuenca del Río Bravo se tienen identificadas según Conapo, nueve zonas metropolitanas las cuales son: en el estado de Coahuila: Saltillo, Monclova-Frontera, Piedras Negras; en el estado de Chihuahua: Juárez y Chihuahua, en el estado de Nuevo León: Monterrey, en el estado de Tamaulipas: Reynosa-Río Bravo, Matamoros y Nuevo Laredo.

Para el cálculo de la demanda se utilizó la proyección de las poblaciones de las zonas metropolitanas anteriores, y se supuso una dotación de 300 l-hab/día, el volumen estimado de agua potable por la población de las Zonas Metropolitanas del Río Bravo al 2030 será de 1,286.8 hm³, que representa el 81% del volumen total de la Cuenca del Río Bravo. Se tiene que la Zona Metropolitana que tiene el mayor crecimiento en la Cuenca del Río Bravo es la de Monterrey N.L. con una demanda de agua de 587.16 hm³ al 2030 la cual representa el 45.6%, siguiéndole Cd. Juárez Chih., con una demanda de agua de 176.99 hm³ que representa el 13.8%, en la tabla 6.5, se muestra la evolución de la demanda de agua potable de las zonas metropolitanas del Río Bravo de 2010 al 2030.

Tabla 6.5 Proyección de la demanda de Agua de las ZM del Río Bravo, 2010 al 2030

Zona Metropolitana	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Saltillo	91.23	92.85	94.40	95.87	97.28	98.63	99.94
Monclova-Frontera	35.18	35.54	35.91	36.29	36.68	37.07	37.46
Piedras Negras	20.03	20.15	20.31	20.50	20.70	20.92	21.15
Juárez	150.90	151.32	152.26	153.31	154.52	155.84	157.22
Chihuahua	96.67	98.32	99.95	101.39	102.74	103.98	105.14
Monterrey	456.36	463.15	469.79	476.56	483.42	490.30	497.18
Reynosa-Río Bravo	81.24	82.87	84.44	85.91	87.32	88.66	89.95
Matamoros	54.64	55.11	55.66	56.25	56.86	57.48	58.12
Nuevo Laredo	42.89	43.34	43.84	44.34	44.86	45.38	45.91
Total	1,029.13	1,042.66	1,056.57	1,070.43	1,084.38	1,098.27	1,112.07

Zona Metropolitana	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Saltillo	101.22	102.46	103.66	104.83	105.98	107.10	108.20
Monclova-Frontera	37.85	38.23	38.61	38.98	39.35	39.71	40.06
Piedras Negras	21.39	21.62	21.87	22.11	22.35	22.59	22.84
Juárez	158.65	160.10	161.55	162.98	164.40	165.85	167.31
Chihuahua	106.24	107.26	108.21	109.09	109.92	110.71	111.47
Monterrey	504.06	510.89	517.65	524.33	530.95	537.52	544.02
Reynosa-Río Bravo	91.20	92.41	93.59	94.72	95.83	96.93	98.01
Matamoros	58.77	59.42	60.06	60.70	61.34	61.97	62.60
Nuevo Laredo	46.44	46.97	47.49	48.01	48.53	49.05	49.57
Total	1,125.80	1,139.37	1,152.69	1,165.76	1,178.65	1,191.44	1,204.07

Zona Metropolitana	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Saltillo	109.28	110.33	111.36	112.37	113.36	114.32	115.25

Monclova-Frontera	40.41	40.75	41.08	41.41	41.73	42.03	42.34
Piedras Negras	23.07	23.31	23.54	23.77	24.00	24.21	24.43
Juárez	168.75	170.19	171.61	173.00	174.36	175.69	176.99
Chihuahua	112.19	112.87	113.52	114.15	114.75	115.33	115.89
Monterrey	550.45	556.79	563.05	569.22	575.30	581.28	587.16
Reynosa-Río Bravo	99.07	100.12	101.15	102.16	103.16	104.14	105.10
Matamoros	63.22	63.83	64.42	65.01	65.58	66.13	66.67
Nuevo Laredo	50.08	50.59	51.09	51.58	52.06	52.54	52.99
Total	1,216.53	1,228.79	1,240.83	1,252.67	1,264.29	1,275.68	1,286.81

Fuente: Elaboración IMTA, con información obtenida de CONAPO.

6.2 ANÁLISIS DEL CRECIMIENTO DE LA DEMANDA DE AGUA PARA USO INDUSTRIAL EN LA CUENCA DEL RÍO BRAVO

Para obtener la demanda de agua para uso industrial en la cuenca del Río Bravo, se revisaron los títulos concesionados del Registro Público de Derechos de Agua (REPGA), 2016, de la Comisión Nacional del Agua de los municipios que forman parte de la Cuenca del Río Bravo, (Inciso 6.1),

6.2.1 Volumen anual concesionado de Agua Subterránea para Uso Industrial del Río Bravo

Para obtener la demanda de agua subterránea para uso industrial en la cuenca del Río Bravo, se revisaron los títulos concesionados del Registro Público de Derechos de Agua (REPGA), 2016, de la Comisión Nacional del Agua de los municipios que forman parte de la Cuenca del Río Bravo, (Inciso 6.1), siendo el estado de Coahuila el que cuenta con el mayor volumen concesionado de agua subterránea para Uso Industrial con 84,986,504 m³, que equivale al 35%, siguiéndole el estado de Nuevo León con un volumen concesionado de agua subterránea de 78,250,797 m³, que equivale al 32%, siguiéndole el estado de Chihuahua con un volumen concesionado de agua subterránea de 66,175,479 m³, que equivale al 27% y por último el estado de Tamaulipas con un volumen concesionado de agua subterránea de 15,230,845 m³, que equivale al 6%.

A continuación se muestra la tabla 6.6 y figura 6.6, el volumen concesionado de agua subterránea para Uso Industrial por estados de la cuenca del Río Bravo.

Tabla 6.6 Volumen anual concesionado de Agua Subterránea para Uso Industrial del Río Bravo

Nombre del Estado	Volumen Anual Concesionado de Agua Subterránea para Uso Industrial m ³	Volumen Anual Concesionado de Agua Subterránea para Uso Industrial %
COAHUILA	84,986,504	35%
CHIHUAHUA	66,175,479	27%
NUEVO LEON	78,250,797	32%
TAMAULIPAS	15,230,845	6%
Total	244,643,625	100%

Fuente: Elaboración IMTA, con información obtenida del REPDA, Conagua 2016.

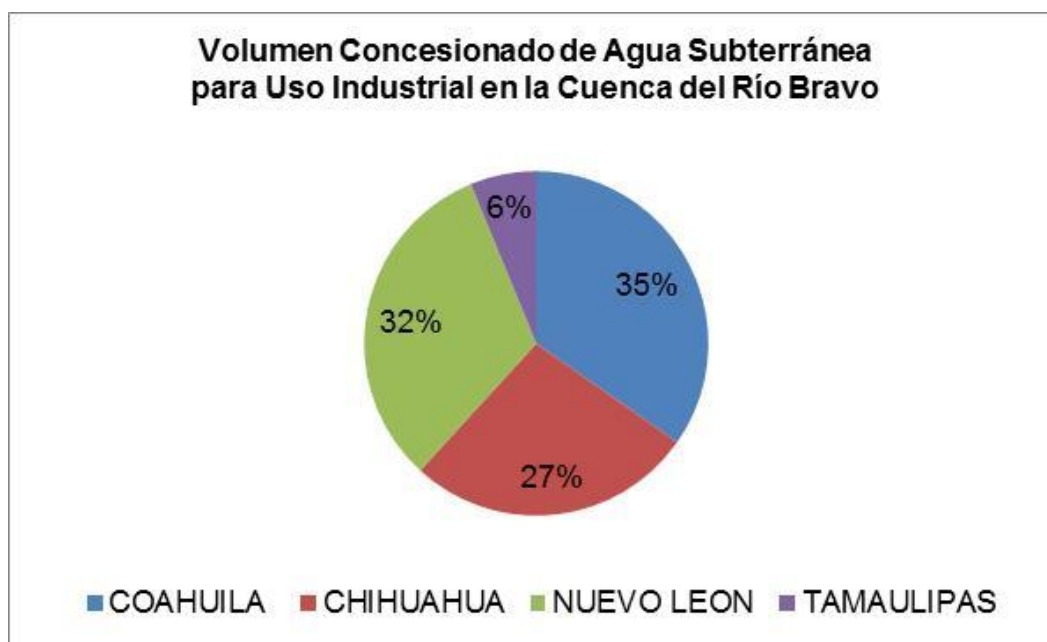


Figura 8.5. Porcentaje del Volumen anual concesionado de Agua Subterránea para Uso Industrial del Río Bravo

Fuente: Elaboración IMTA, con información obtenida del REPDA, Conagua 2016.

6.2.2 Volumen anual concesionado de Agua Superficial para Uso Industrial del Río Bravo

Para obtener la demanda de agua superficial para uso industrial en la cuenca del Río Bravo, se revisaron los títulos concesionados del Registro Público de Derechos de Agua (REPGA), 2016, de la Comisión Nacional del Agua de los municipios que forman parte de la Cuenca del Río Bravo, (Inciso 6.1), siendo el estado de Coahuila el que cuenta con el mayor volumen concesionado de agua superficial para Uso Industrial con 48,768,602 m³, que equivale al 73%, siguiéndole el estado de Tamaulipas con un volumen concesionado de agua superficial de 12,378,795 m³, que equivale al 19%, siguiéndole el estado de Chihuahua con un volumen concesionado de agua superficial de 5,326,560 m³, que equivale al 8% y por último el estado de Nuevo León no cuenta con volumen concesionado de agua superficial .

A continuación se muestra la tabla 6.7 y figura 6.7, el volumen concesionado de agua superficial para Uso Industrial por estados de la cuenca del Río Bravo.

Tabla 6.7 Volumen anual concesionado de Agua Superficial para Uso Industrial del Río Bravo

Nombre del Estado	Volumen Anual Concesionado de Agua Superficial para Uso Industrial m³	Volumen Anual Concesionado de Agua Superficial para Uso Industrial %
COAHUILA	48,768,602	73%
CHIHUAHUA	5,326,560	8%
NUEVO LEON	0	0%
TAMAULIPAS	12,378,795	19%
Total	66,473,957	100%

Fuente: Elaboración IMTA, con información obtenida del REPGA, Conagua 2016.

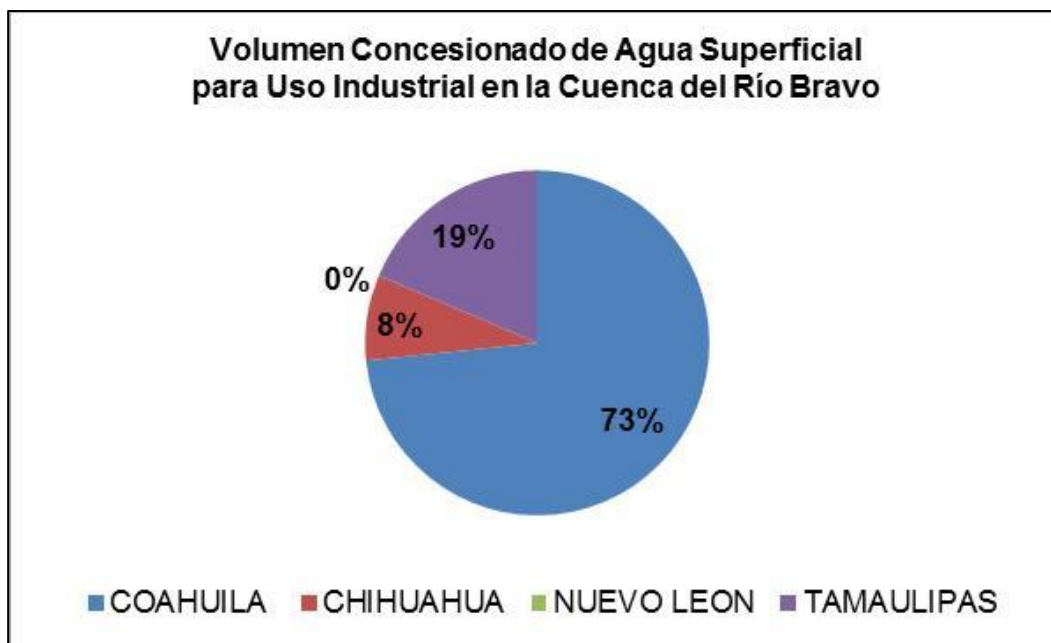


Figura 8.6. Porcentaje del Volumen anual concesionado de Agua Superficial para Uso Industrial del Río Bravo

Fuente: Elaboración IMTA, con información obtenida del REPDA, Conagua 2016.

6.2.3 Volumen anual concesionado de Agua para Uso Industrial en la Cuenca del Río Bravo

Para obtener la demanda de agua para uso industrial se sumaron el volumen concesionado de agua subterránea y superficial en la cuenca del Río Bravo, se revisaron los títulos concesionados del Registro Público de Derechos de Agua (REPDA), 2016, de la Comisión Nacional del Agua de los municipios que forman parte de la Cuenca del Río Bravo, (Inciso 6.1), siendo el estado de Coahuila el que cuenta con el mayor volumen concesionado de agua para Uso Industrial con 133,755,106 m³, que equivale al 43%, siguiéndole el estado de Nuevo León con un volumen concesionado de agua de 78,250,797 m³, que equivale al 25%, siguiéndole el estado de Chihuahua con un volumen concesionado de agua de 71,502,039 m³, que equivale al 23% y por último el estado de Tamaulipas con un volumen concesionado de agua de 27,609,640 m³, que equivale al 9%.

A continuación se muestra la tabla 6.8 y figura 6.8, el volumen concesionado de agua para Uso Industrial por estados de la cuenca del Río Bravo.

Tabla 6.8 Volumen anual concesionado de Agua para Uso Industrial del Río Bravo

Nombre del Estado	Volumen Anual Concesionado de Agua Subterránea para Uso Industrial m ³	Volumen Anual Concesionado de Agua Superficial para Uso Industrial m ³	Volumen Total Anual Concesionado para Uso Industrial m ³	Volumen Total Anual Concesionado para Uso Industrial %
COAHUILA	84,986,504	48,768,602	133,755,106	43%
CHIHUAHUA	66,175,479	5,326,560	71,502,039	23%
NUEVO LEON	78,250,797	0	78,250,797	25%
TAMAULIPAS	15,230,845	12,378,795	27,609,640	9%
Total	244,643,625	66,473,957	311,117,582	100%

Fuente: Elaboración IMTA, con información obtenida del REPDA, Conagua 2016.

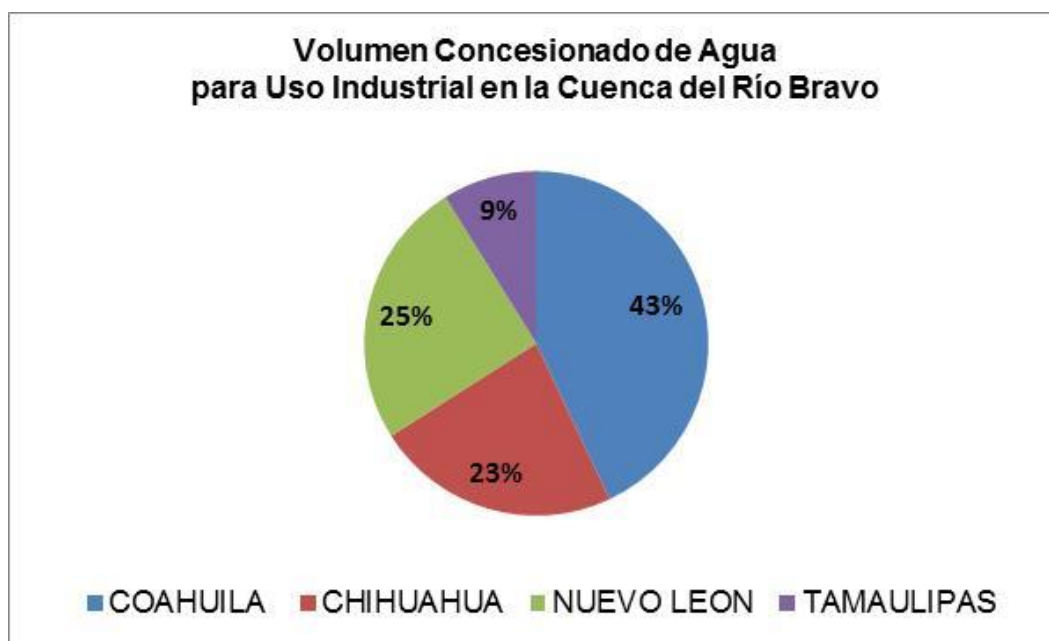


Figura 8.7. Porcentaje del Volumen anual concesionado de Agua para Uso Industrial del Río Bravo

Fuente: Elaboración IMTA, con información obtenida del REPDA, Conagua 2016.

6.3 ANÁLISIS DEL CRECIMIENTO DE LA DEMANDA DE AGUA PARA USO AGRÍCOLA EN LA CUENCA DEL RÍO BRAVO

La Cuenca del Río Bravo cuenta con once Distritos de Riego (DR) los cuales son: DR 004 Don Martín, N.L., DR 005 Cd. Delicias, Chih., DR 006 Palestina, Coah., DR 009 Valle de Cd. Juárez, Chih., DR 025 Bajo Rio Bravo, Tamps., DR 026 Bajo Rio San Juan, Tamps., DR 031 Las Lajas, N.L., DR 050 Acuña Falcon, Tamps., DR 090 Bajo Rio Conchos, Chih., DR 103 Rio Florido, Chih., DR 113 Alto Río Conchos, Chih.

A continuación se muestra la figura 6.9, los Distritos de Riego ubicados en la Cuenca del Río Bravo.

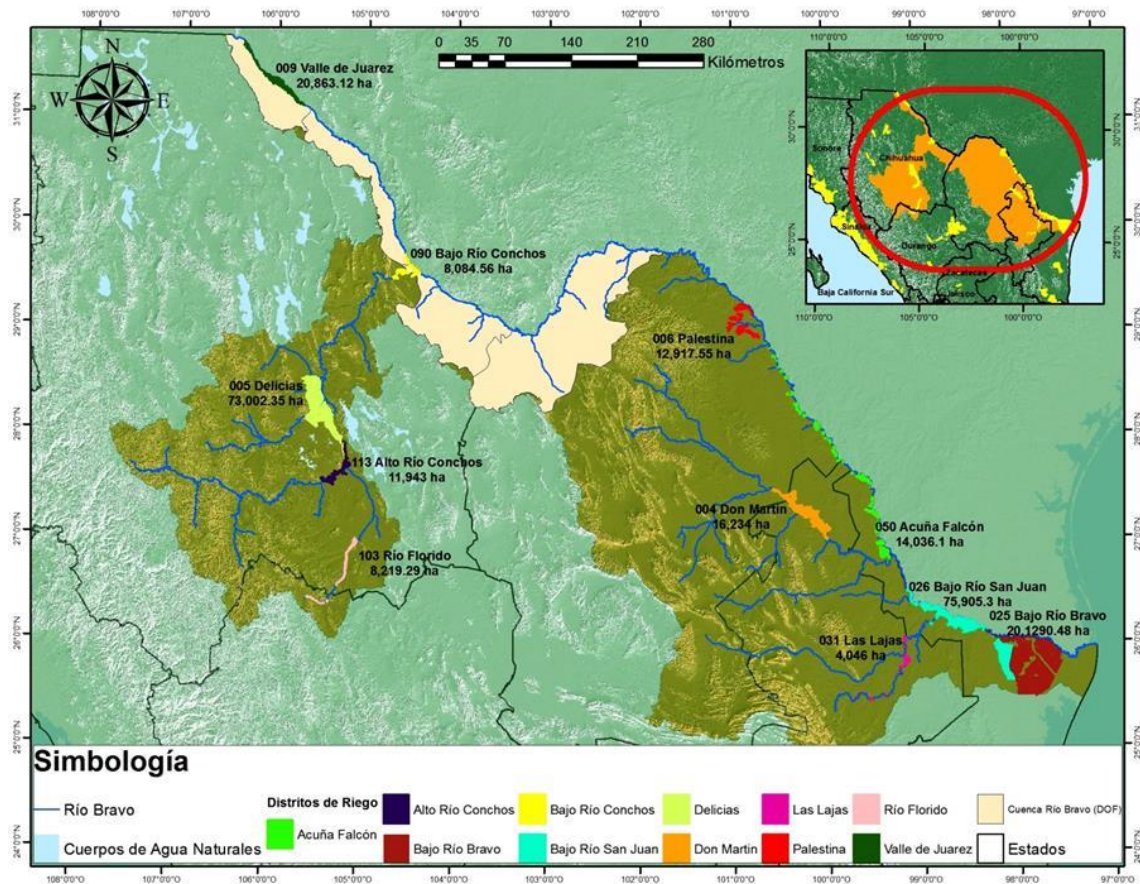


Figura 8.8. Distritos de Riego ubicados en la Cuenca del Río Bravo

Fuente: Elaboración IMTA, Distritos de Riego 2015-2016, CONAGUA. SGIH.

6.3.1 Demanda de Agua para uso Agrícola en los Distritos de Riego del Río Bravo

Para poder establecer la demanda de agua para uso agrícola en los Distritos de Riego del Río Bravo se revisaron la información de las estadísticas agrícolas de los volúmenes utilizados por los once Distritos de Riego de 1990 a 2016, y en donde se presentó un Volumen Máximo de agua de 3,787.004 hm³, el cual se presentó en el año de 1994, y se tuvo un Volumen Mínimo de agua de 898.361 hm³, el cual se presentó en el año de 2001 y el volumen promedio de agua de 1990 a 2016 es de 1,993.153 hm³.

A continuación se muestra la tabla 6.9 y figura 6.10, la evolución de los volúmenes utilizados en los Distritos de Riego de 1990 al 2016 de la Cuenca del Río Bravo.

Tabla 6.9 Volumen Bruto utilizado en los Distritos de Riego del Río Bravo (miles de m³), 1990-2016

Distrito de Riego	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
004 Don Martín, N.L.	313,754	295,886	270,770	316,010	317,801	222,510	-
005 Cd. Delicias, Chih.	1,306,588	1,264,897	1,462,455	1,759,573	1,389,658	134,888	318,187
006 Palestina, Coah.	77,373	61,396	32,705	95,360	55,275	55,460	32,192
009 Valle de Cd. Juárez, Chih.	207,715	182,732	143,102	167,041	253,637	255,620	254,338
025 Bajo Río Bravo, Tamps.	481,764	-	-	-	967,486	778,741	212,607
026 Bajo Río San Juan, Tamps.	260,722	353,848	325,433	491,802	476,520	276,448	263,331
031 Las Lajas, N.L.	31,898	27,360	25,175	21,350	2,631	5,582	18,411
050 Acuña Falcon, Tamps.	26,203	6,855	2,493	8,169	15,003	4,354	1,960
090 Bajo Río Conchos, Chih.	124,786	134,247	98,725	125,638	106,251	103,023	48,970
103 Río Florido, Chih.	118,469	120,707	126,833	117,110	202,742	38,949	33,777
113 Alto Río Conchos, Chih.	-	-	-	-	-	-	-
Total	2,949,272	2,447,928	2,487,691	3,102,053	3,787,004	1,875,576	1,183,774
Distrito de Riego	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
004 Don Martín, N.L.	0	41,082	-	210,848	-	-	-

005 Cd. Delicias, Chih.	1,307,940	1,002,551	390,280	814,226	445,029	388,487	460,300
006 Palestina, Coah.	25,887	47,102	35,144	43,124	33,486	33,501	22,468
009 Valle de Cd. Juárez, Chih.	243,090	94,506	145,935	161,542	160,376	163,752	134,235
025 Bajo Rio Bravo, Tamps.	89,709	484,928	398,112	328,639	-	-	392,973
026 Bajo Rio San Juan, Tamps.	146,812	222,875	114,271	110,100	160,499	383,182	395,430
031 Las Lajas, N.L.	15,174	14,316	-	-	-	14,887	8,086
050 Acuña Falcon, Tamps.	2,397	4,205	3,449	3,822	-	-	3,845
090 Bajo Rio Conchos, Chih.	99,540	78,478	72,346	61,394	55,850	75,820	52,087
103 Rio Florido, Chih.	114,711	83,752	65,699	56,757	43,121	25,217	57,008
113 Alto Rio Conchos, Chih.	0	-	-	-	-	-	-
Total	2,045,260	2,073,794	1,225,236	1,790,452	898,361	1,084,846	1,526,432

Distrito de Riego	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
004 Don Martín, N.L.	84	141,564	220,666	35,630	136,578	192,967	143,139
005 Cd. Delicias, Chih.	374,231	604,940	618,955	857,272	702,399	986,112	873,901
006 Palestina, Coah.	9,336	33,360	60,641	24,061	40,842	58,162	17,488
009 Valle de Cd. Juárez, Chih.	120,349	128,155	106,119	126,137	126,900	155,370	148,939
025 Bajo Rio Bravo, Tamps.	123,077	707,624	858,459	692,151	1,029,262	948,119	475,916
026 Bajo Rio San Juan, Tamps.	217,267	506,589	510,182	381,827	529,558	468,862	270,384
031 Las Lajas, N.L.	14,973	22,905	15,171	10,055	20,546	19,946	10,207
050 Acuña Falcon, Tamps.	3,077	12,080	11,473	5,561	7,427	11,100	6,254
090 Bajo Rio Conchos, Chih.	38,240	54,039	53,104	46,106	56,502	51,657	62,062
103 Rio Florido, Chih.	55,367	74,754	66,780	95,142	70,237	112,263	89,101

113 Alto Río Conchos, Chih.	-	-	-	-	-	-	-
Total	956,002	2,286,010	2,521,549	2,273,943	2,720,252	3,004,559	2,097,390
Distrito de Riego	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Promedio
004 Don Martín, N.L.	191,424	140,166	159,617	133,003	93,162	97,960	136,097
005 Cd. Delicias, Chih.	1,022,216	958,073	526,673	756,460	901,343	884,856	833,796
006 Palestina, Coah.	37,532	55,240	44,194	59,814	19,256	28,840	42,194
009 Valle de Cd. Juárez, Chih.	114,769	118,026	114,188	112,449	124,048	133,528	155,430
025 Bajo Río Bravo, Tamps.	1,269,985	1,014,631	664,363	504,041	160,534	511,139	484,973
026 Bajo Río San Juan, Tamps.	542,534	488,874	423,549	332,987	103,610	323,983	336,351
031 Las Lajas, N.L.	20,855	19,470	16,710	9,956	0	7,477	13,820
050 Acuña Falcon, Tamps.	11,533	9,238	9,022	12,146	7,866	8,094	7,319
090 Bajo Río Conchos, Chih.	79,532	62,731	59,236	59,013	62,653	64,451	73,573
103 Río Florido, Chih.	105,359	80,783	45,507	64,805	87,238	69,880	82,299
113 Alto Río Conchos, Chih.	-	-	0	75,125	92,351	77,390	81,622
Total	3,395,738	2,947,232	2,063,060	2,119,800	1,652,063	2,207,597	1,993,153

Fuente: Elaboración IMTA, con información de Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Riego, Conagua-IMTA.

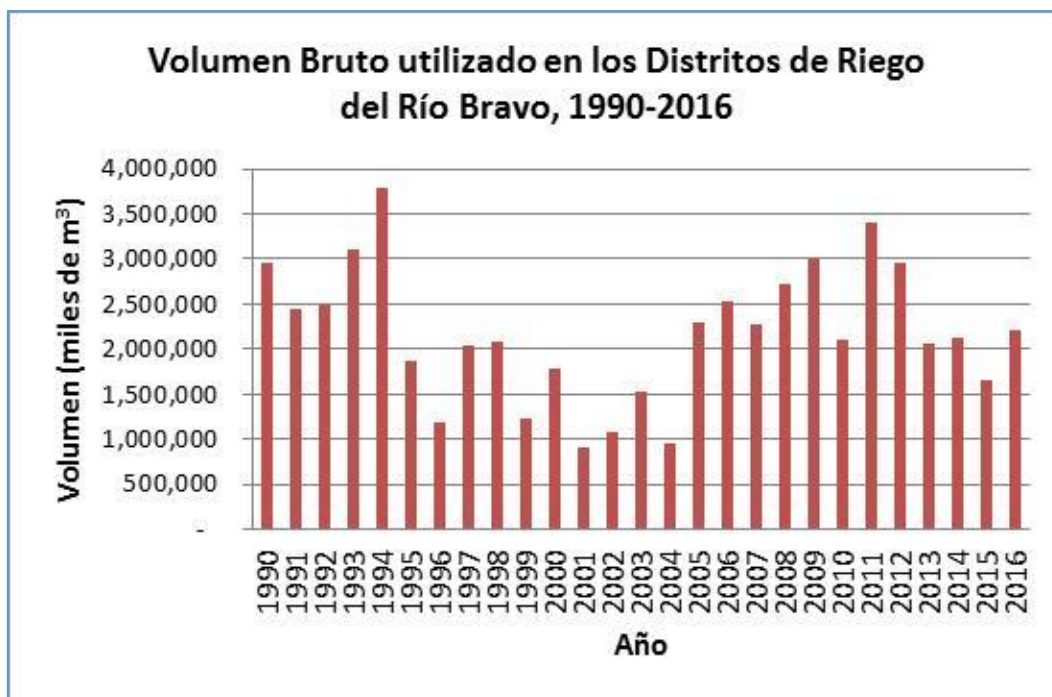


Figura 8.9. Volumen Bruto utilizado en los Distritos de Riego del Río Bravo, 1990-2016

Fuente: Elaboración IMTA, con información de Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Riego, Conagua-IMTA.

Tabla 6.10 Volumen Bruto utilizado en los Distritos de Riego del Río Bravo (hm³), 1990-2016

DISTRITO DE RIEGO	Promedio	Máximo	Mínimo
004 Don Martín, N.L.	136.10	317.80	0.00
005 Cd. Delicias, Chih.	833.80	1,759.57	134.89
006 Palestina, Coah.	42.19	95.36	9.34
009 Valle de Cd. Juárez, Chih.	155.43	255.62	94.51
025 Bajo Río Bravo, Tamps.	484.97	1,269.99	0.00
026 Bajo Río San Juan, Tamps.	336.35	542.53	103.61
031 Las Lajas, N.L.	13.82	31.90	0.00
050 Acuña Falcon, Tamps.	7.32	26.20	0.00
090 Bajo Río Conchos, Chih.	73.57	134.25	38.24
103 Río Florido, Chih.	82.30	202.74	25.22
113 Alto Río Conchos, Chih.	81.62	92.35	0.00
Promedio	1,993.15	3,787.00	898.36

Fuente: Elaboración IMTA, con información de Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Riego, Conagua-IMTA.

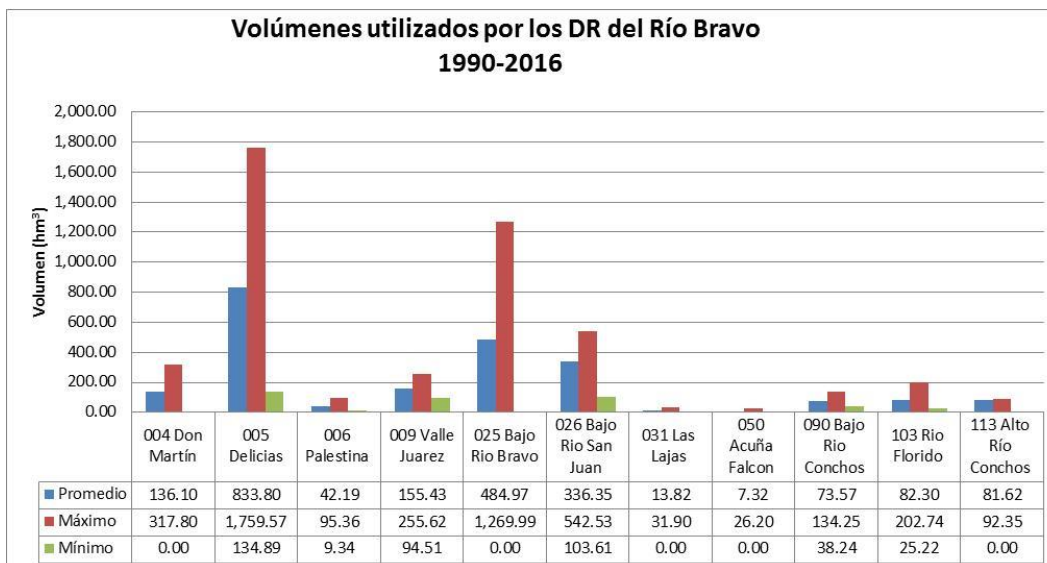


Figura 8.10. Volumen Bruto utilizado en los Distritos de Riego del Río Bravo, 1990-2016

Fuente: Elaboración IMTA, con información de Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Riego, Conagua-IMTA

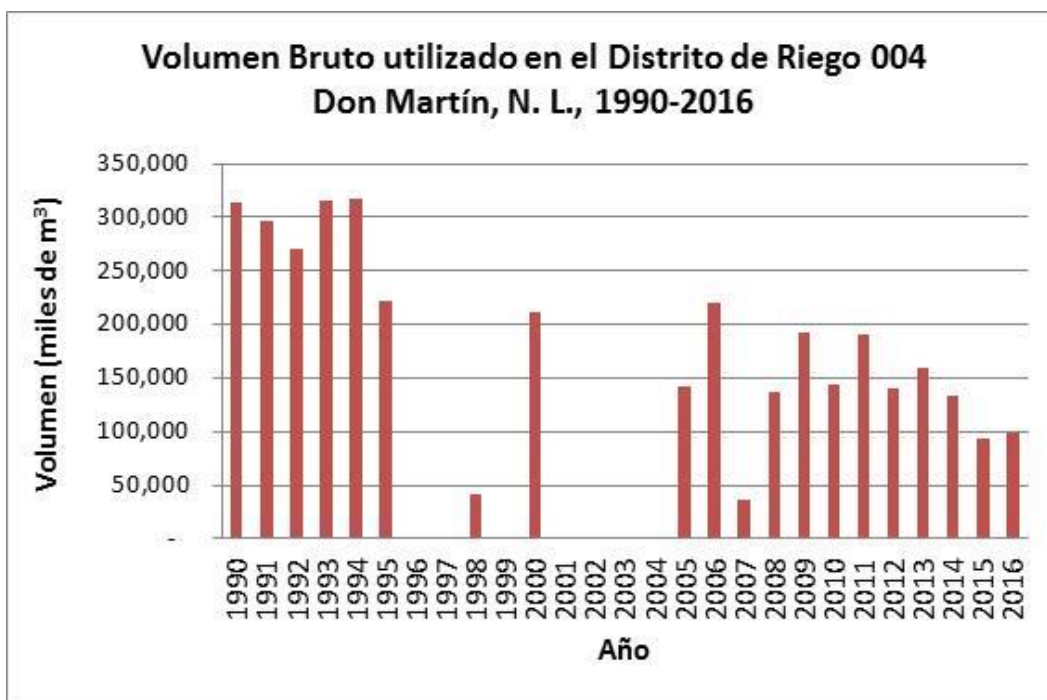


Figura 8.11. Volumen Bruto utilizado en el DR 004 Don Martín, N.L. 1990-2016

Fuente: Elaboración IMTA, con información de Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Riego, Conagua-IMTA

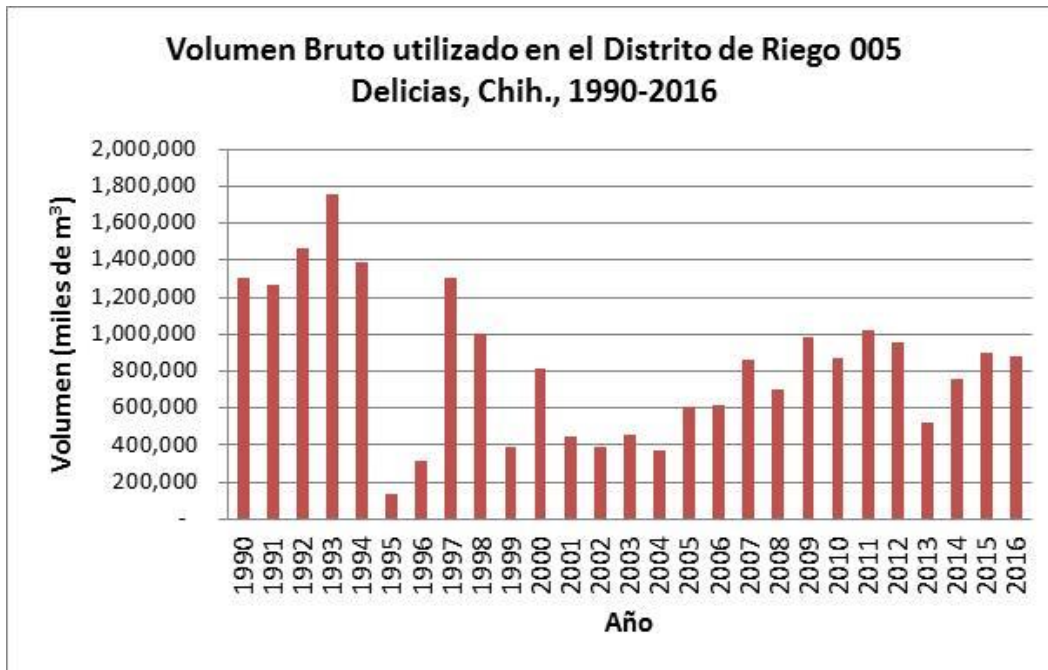


Figura 8.12. Volumen Bruto utilizado en el DR 005 Delicias, Chih. 1990-2016

Fuente: Elaboración IMTA, con información de Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Riego, Conagua-IMTA

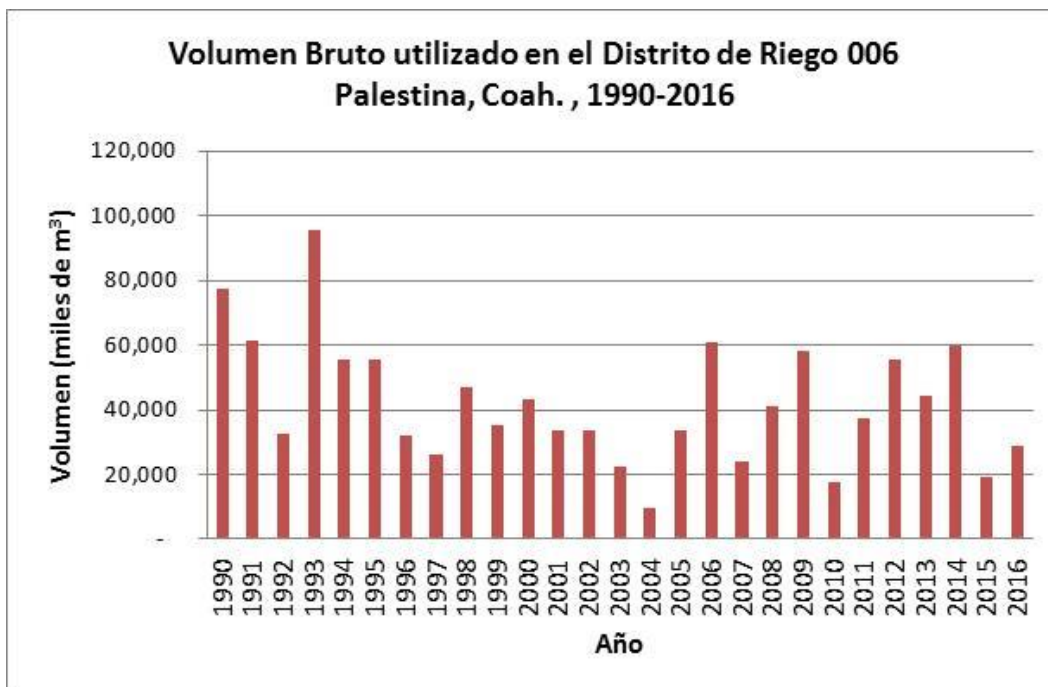


Figura 8.13. Volumen Bruto utilizado en el DR 006 Palestina, Coah. 1990-2016

Fuente: Elaboración IMTA, con información de Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Riego, Conagua-IMTA

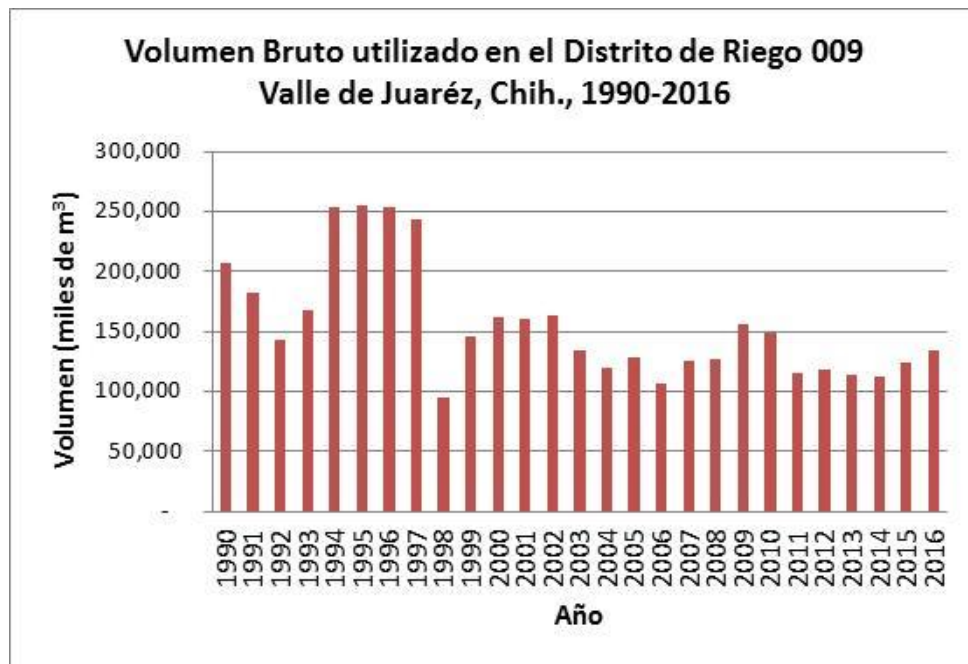


Figura 8.14. Volumen Bruto utilizado en el DR 009 Valle de Juárez, Chih. 1990-2016

Fuente: Elaboración IMTA, con información de Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Riego, Conagua-IMTA

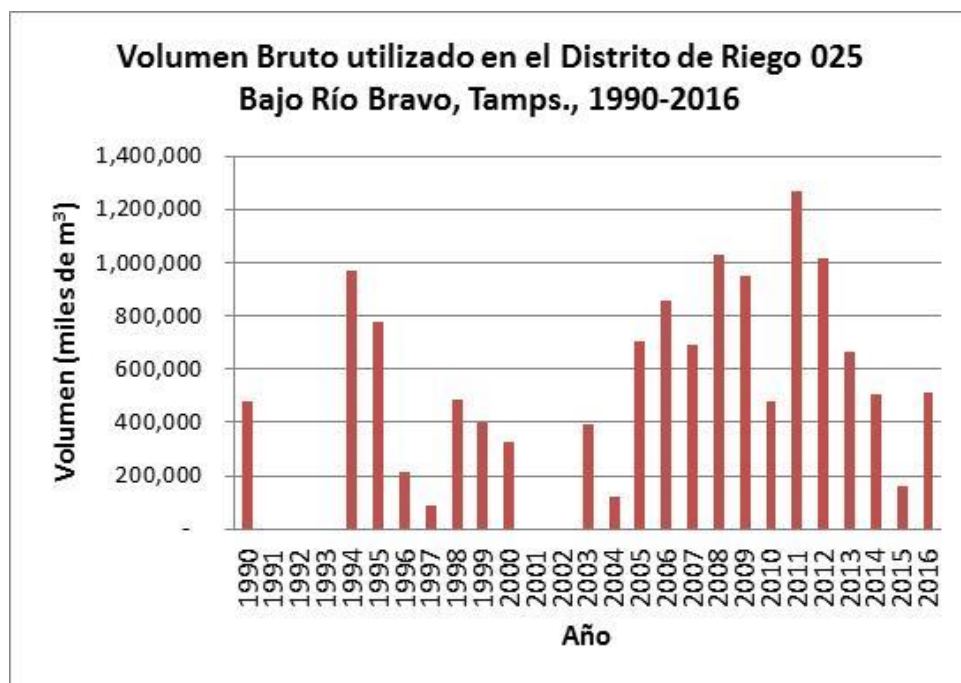


Figura 8.15. Volumen Bruto utilizado en el DR 025 Bajo Río Bravo, Tamps. 1990-2016

Fuente: Elaboración IMTA, con información de Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Riego, Conagua-IMTA

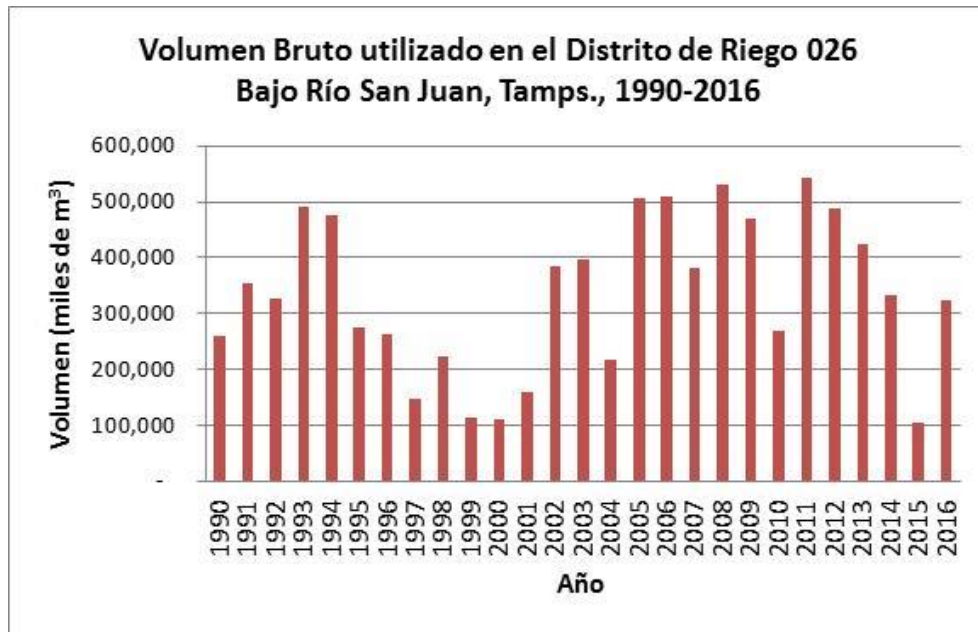


Figura 8.16. Volumen Bruto utilizado en el DR 026 Bajo Río San Juan, Tamps. 1990-2016

Fuente: Elaboración IMTA, con información de Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Riego, Conagua-IMTA

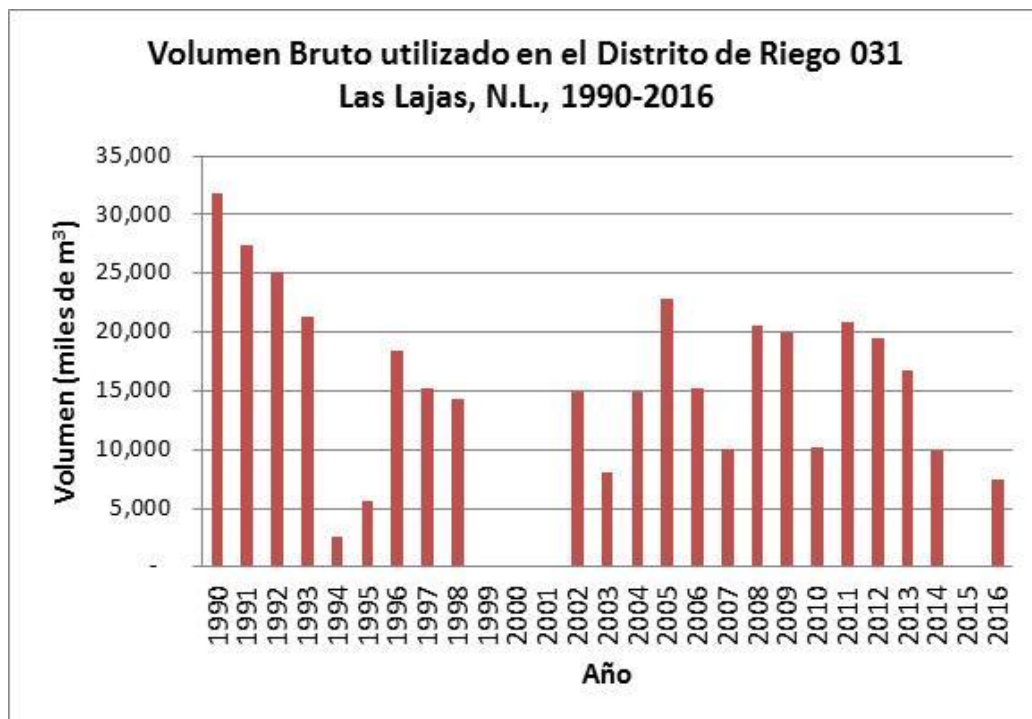


Figura 8.17. Volumen Bruto utilizado en el DR 031 Las Lajas, N.L. 1990-2016

Fuente: Elaboración IMTA, con información de Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Riego, Conagua-IMTA

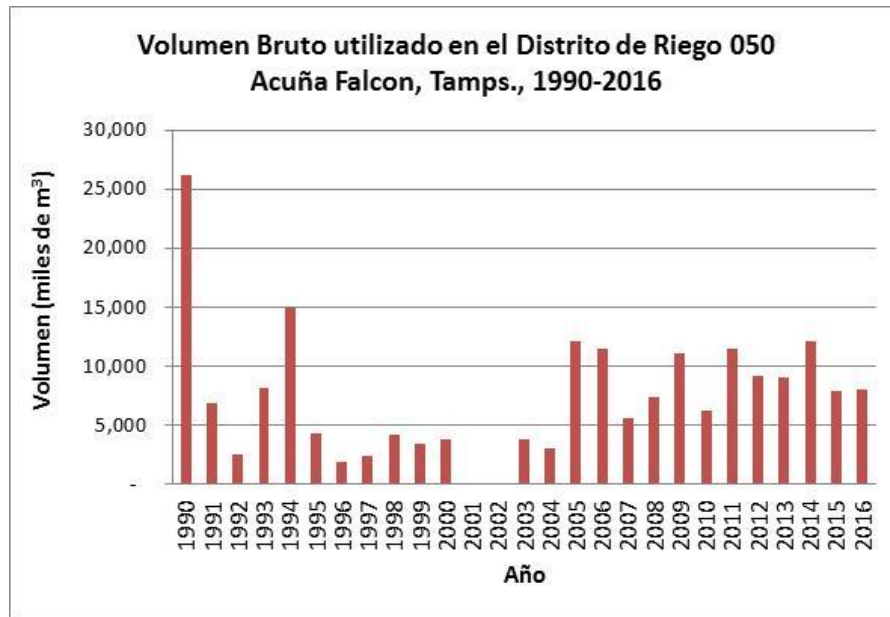


Figura 8.18. Volumen Bruto utilizado en el DR 050 Acuña-Falcon, Tamps. 1990-2016

Fuente: Elaboración IMTA, con información de Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Riego, Conagua-IMTA

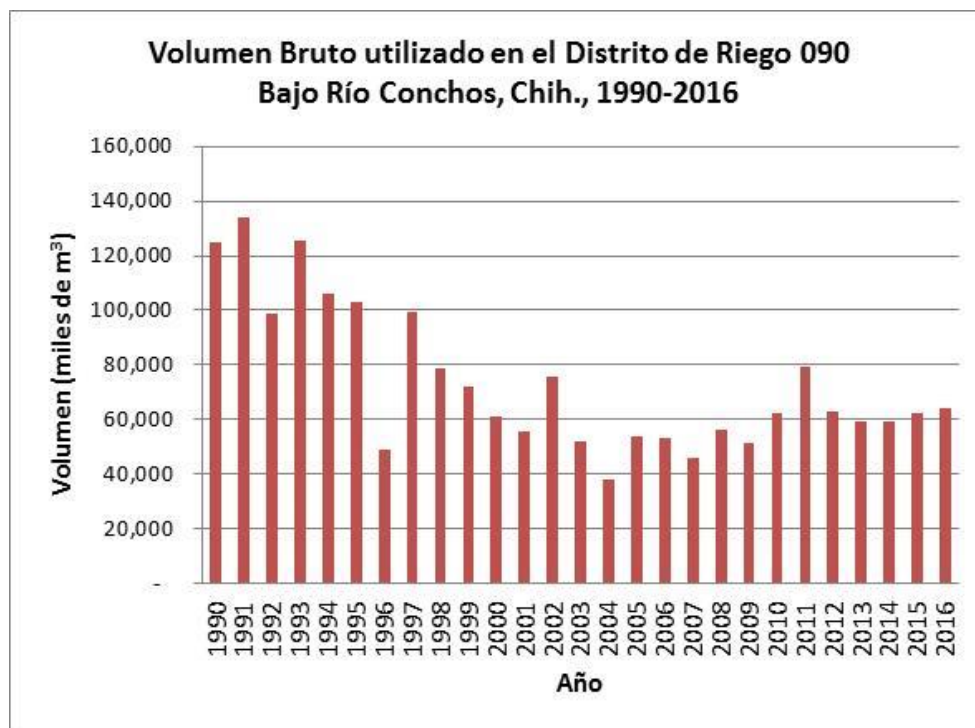


Figura 8.19. Volumen Bruto utilizado en el DR 090 Bajo Río Conchos, Chih. 1990-2016

Fuente: Elaboración IMTA, con información de Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Riego, Conagua-IMTA

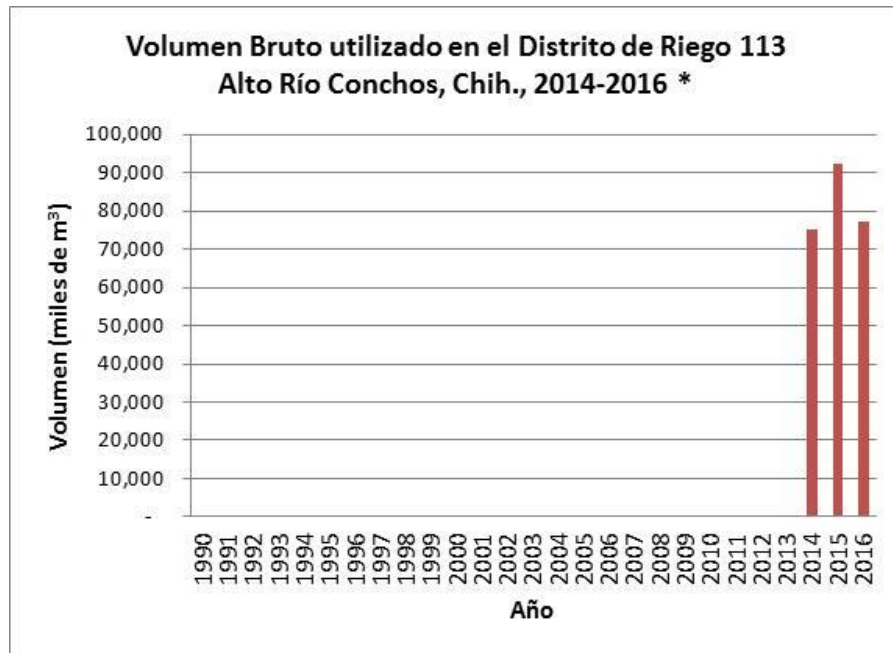


Figura 8.20. Volumen Bruto utilizado en el DR 113 Alto Río Conchos, Chih. 1990-2016

Fuente: Elaboración IMTA, con información de Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Riego, Conagua-IMTA

9. EVALUACIÓN HIDROLÓGICA DE LAS CUENCAS

De acuerdo a la publicación del Diario Oficial de la Federación publicado en junio de 2011, el río Bravo nace en las montañas San Juan fluye a través del valle de San Luis hacia el sur pasando por Nuevo México a través de Albuquerque y Las Cruces, hacia El Paso, Texas, hasta llegar a formar parte de la frontera entre los Estados Unidos de América y los Estados Unidos Mexicanos.

El cauce principal sigue la dirección norte-sur hasta el límite con el territorio mexicano en Ciudad Juárez, Chihuahua, cambia de dirección al sureste, hasta su desembocadura en el Golfo de México, cerca de la ciudad de Matamoros, Tamaulipas. Desde su nacimiento hasta su desembocadura al Golfo de México, tiene un desarrollo de 2,896 kilómetros de los cuales 2,017 kilómetros son frontera internacional entre los Estados Unidos de América y los Estados Unidos Mexicanos.

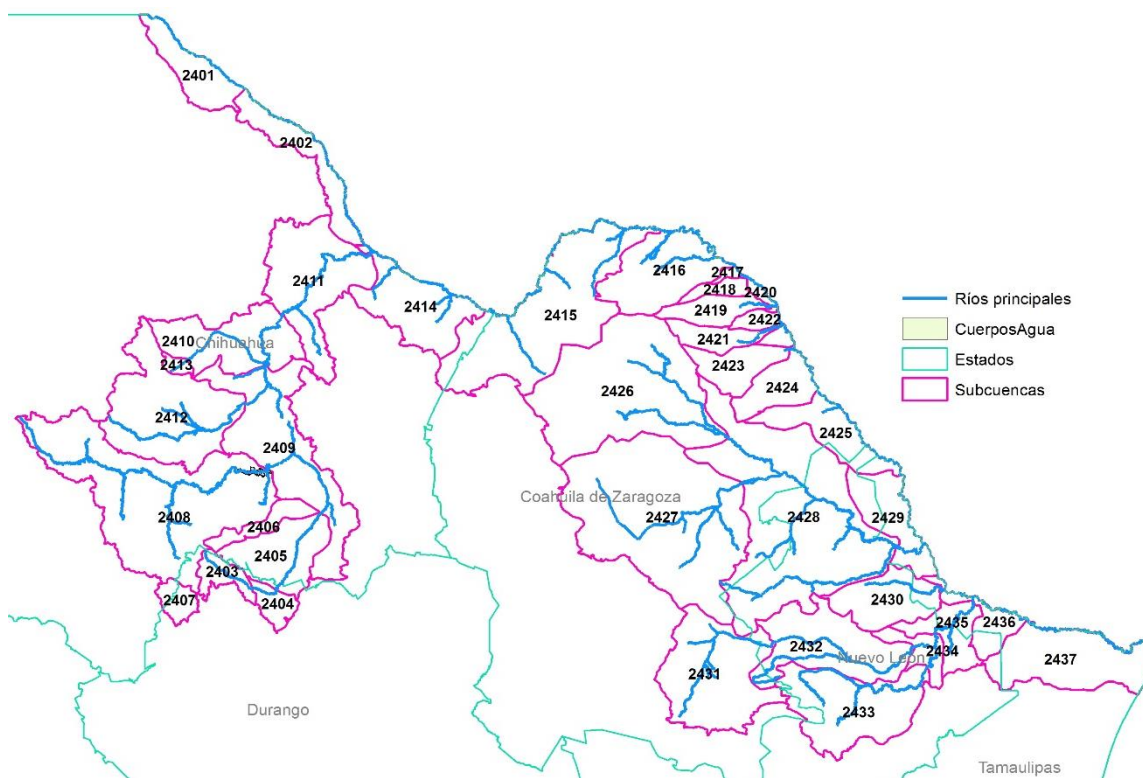


Figura 9.1. Sistema hidrológico de la región hidrológica del río Bravo

Las cuencas que integran el Río Conchos forman el área de aportación más grande de las corrientes mexicanas que descargan al Río Bravo. Tiene una superficie de escurrimiento de 65,770 kilómetros cuadrados, que representa el 29% de la región hidrológica. El Río Conchos nace al suroeste del Estado de Chihuahua, aunque el Río Florido, uno de sus tributarios, nace más al sur, en la parte norte del Estado de Durango.

la Región Hidrológica número 24 Bravo-Conchos, está integrada por 37 cuencas hidrológicas y éstas se agrupan en cuatro subregiones hidrológicas.

Tabla 9.1. Subregiones del Río Bravo

Subregión	Cuenca		
	No.	Nombre	Descripción
ALTO BRAVO	1	Río Bravo 1	Desde la Presa derivadora internacional Ciudad Juárez hasta la EH Fort Quitman
	2	Río Bravo 2	Desde la EH Fort Quitman hasta la EH Presidio
SEIS TRIBUTARIOS	3	Río Florido 1	Las cuencas hidrológicas que integran la subregión hidrológica Seis Tributarios, corresponden a las cuencas de los ríos que están establecidos en el inciso c) del párrafo B del Artículo 4 del Tratado sobre Aguas Internacionales de 1944
	4	Río Florido 2	
	5	Río Florido 3	
	6	Río Parral	
	7	Río Balleza	
	8	Río Conchos 1	
	9	Río San Pedro	
	10	Río Conchos 2	
	11	Río Chuviscar	
	12	Río Conchos 3	
	13	Río Conchos 4	
	18	Arroyo de las Vacas	
	19	Río San Diego	
	21	Río San Rodrigo	
	23	Río Escondido	
	26	Río Sabinas	
27	Río Nadadores		
28	Río Salado		
MEDIO BRAVO	14	Río Bravo 3	Las cuencas hidrológicas que integran esta Subregión corresponden a aquellas drenadas por el cauce principal del Río Bravo tal como se señala en el inciso d de la parte B del artículo 4 del Tratado sobre Aguas Internacionales de 1944
	15	Río Bravo 4	
	16	Río Bravo 5	
	17	Río Bravo 6	
	20	Río Bravo 7	
	22	Río Bravo 8	
	24	Río Bravo 9	
	25	Río Bravo 10	
29	Río Bravo 11		
BAJO BRAVO	30	Río Álamo	Desde su origen hasta la EH Mier
	31	Río Salinas	Desde su origen hasta la EH Icamole
	32	Río Pesquería	Desde la EH Icamole hasta la EH Los Herrera
	33	Río San Juan 1	Desde su origen hasta la Presa El Cuchillo
	34	Río San Juan 2	Desde EH Los Herrera y Presa El Cuchillo hasta EH Los Aldama
	35	Río San Juan 3	Desde la EH Los Aldama hasta la EH Camargo
	36	Río Bravo 12	Desde Presa Falcón y EH Mier y Camargo hasta EH Anzaldúas
	37	Río Bravo 13	Desde EH Anzaldúas hasta EH Matamoros, Golfo de México

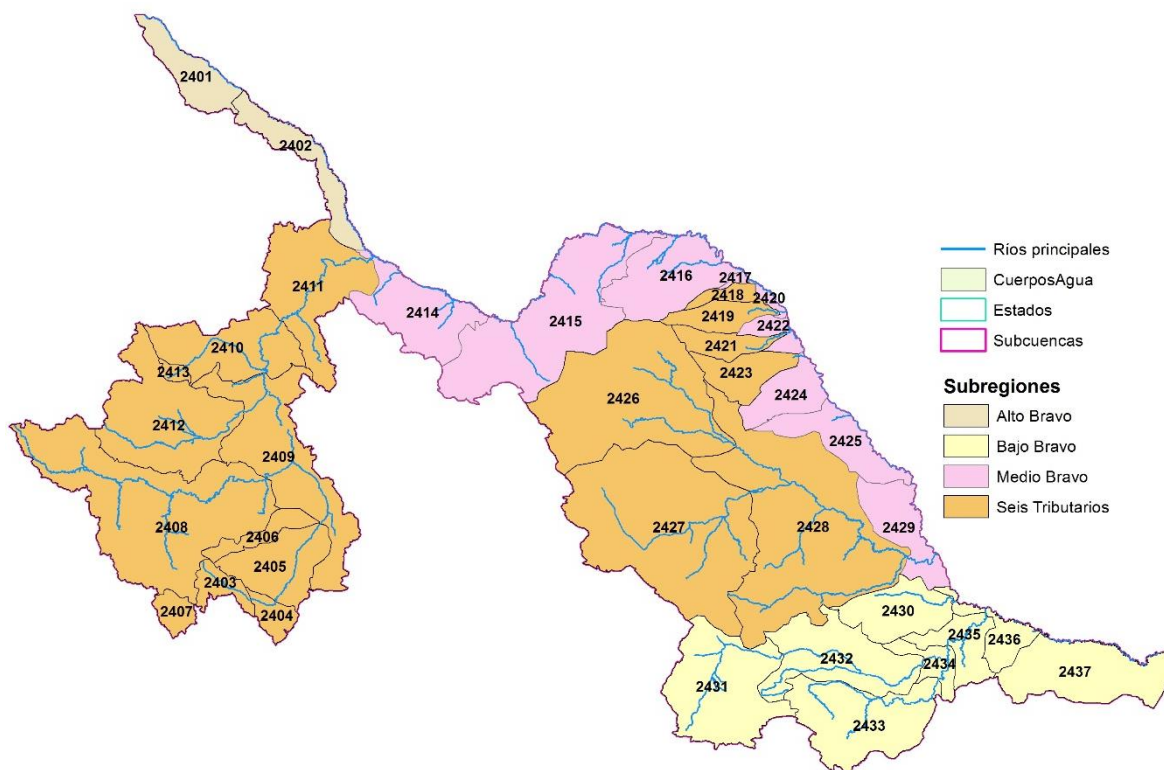


Figura 9.2. Subregiones de la región hidrológica del río Bravo

7.1 COBERTURA VEGETAL

En la región se pueden encontrar los siguientes tipos de vegetación: chaparral, matorral desértico, pastizal natural, bosques de encino, bosques de pino, bosques de táscate, vegetación halófila, agricultura de riego y temporal, candelilla, lechuguilla, palma ixtlera, guayule, la gobernadora y nopal cardón.

Además, se tienen decretadas áreas naturales protegidas:

- Parques Nacionales Balneario
- Los Novillos
- Cumbres de Majalca
- Cumbres de Monterrey
- Cascada de Basaseáchic
- Monumento Natural Cerro de la Silla
- Áreas de protección de Flora y Fauna Cuatro Ciénegas,
- Maderas del Carmen
- Cañón de Santa Elena.

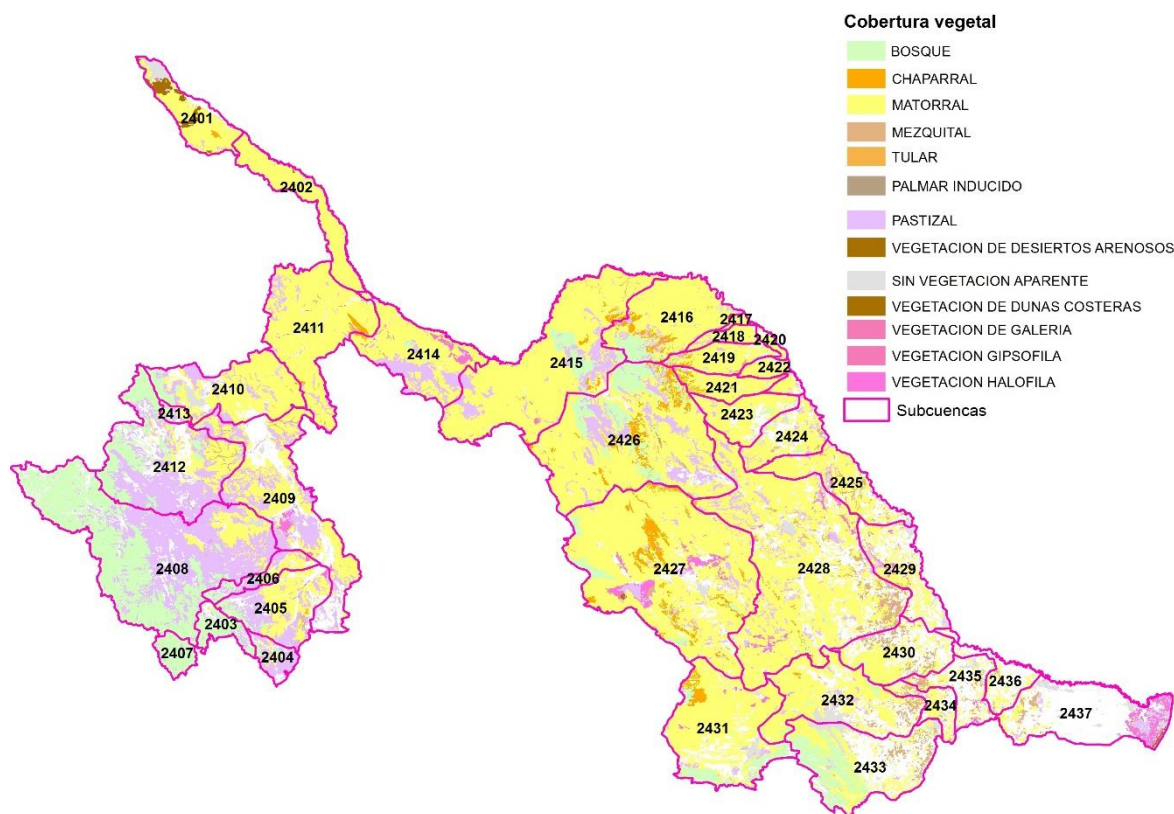


Figura 9.3. Subregiones de la región hidrológica del río Bravo

7.2 USOS DE AGUA

En la Región Hidrológica número 24 Bravo-Conchos, hay escasez de agua en las zonas de mayor desarrollo económico y dinámica demográfica, lo que conduce a que, en la medida en la que el consumo aumenta, la ocurrencia de agua per cápita tienda a disminuir.

Un gran porcentaje del territorio de la región hidrológica es árido, sobre todo en la parte poniente donde se localizan grandes desiertos. El escurrimiento no se distribuye uniformemente y sólo puede aprovecharse en forma irregular.

Se identifican como usos consuntivos en la región los usos público urbano, industrial, agrícola, pecuario y en el enfriamiento de termoeléctricas para la generación de energía eléctrica. Así mismo existen como usos no consuntivos la generación de energía eléctrica por medio de las hidroeléctricas y la acuicultura. Por lo que se refiere a la recreación y el turismo, se considera en dos aspectos: el primero como un consumo de agua potable (que está integrado al uso público urbano, pues el abastecimiento es de las redes de abastecimiento municipales) y el segundo, es el referente a los cuerpos de agua en los cuales se desarrolla esta actividad en forma global junto con otras. La demanda de agua para usos industriales y domésticos ha crecido mucho en las últimas décadas.

De acuerdo a lo publicado en el Diario Oficial de la Federación, el 85.8% del volumen total incluyendo los usos no consuntivos, se extraen de embalses, cauces y corrientes superficiales, mientras que el resto provienen de los acuíferos. Cabe señalar que un

componente importante del volumen disponible para los aprovechamientos superficiales es el proveniente de los retornos de los volúmenes una vez empleados en las plantas hidroeléctricas localizadas en la región, así como volúmenes provenientes de las descargas de aguas residuales de las principales localidades de la Región Hidrológica, aunque gran parte de este abastecimiento haya tenido su origen en los acuíferos.

En total se estima que el volumen de retornos al sistema asciende a 5,142.8 millones de metros cúbicos anuales, lo cual es importante dado que en la región hidrológica sólo se generan escurrimientos naturales promedio del orden de 5,590 millones de metros cúbicos anuales.

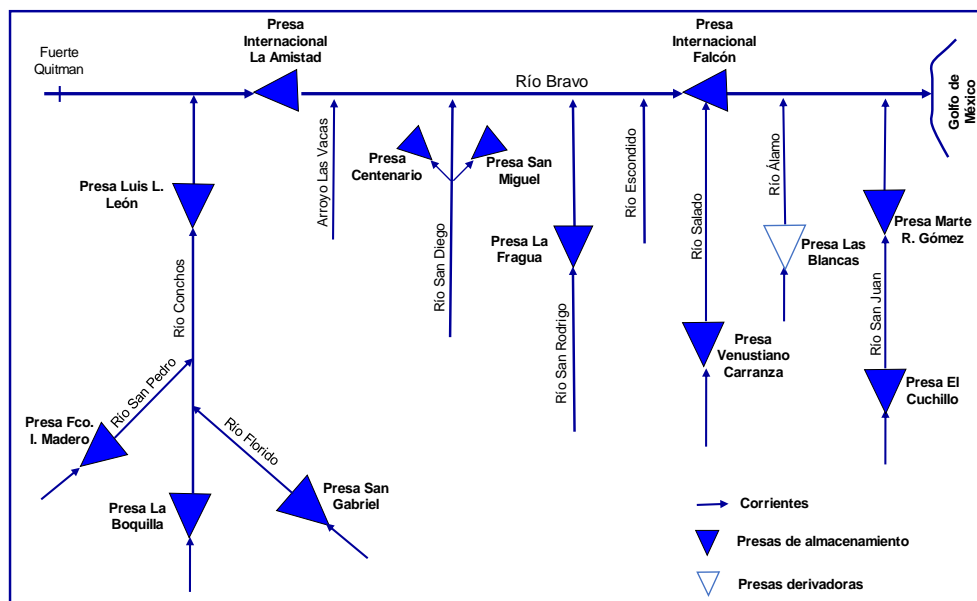


Figura 9.5. Diagrama del sistema hidrológico de la cuenca del río Bravo (sección mexicana).

Tabla 9.2. Principales presas de almacenamiento en la cuenca del río Bravo.

Nombre Oficial	Nombre Común	Corriente	Capacidad* (hm ³)	Usos
Federalismo Mexicano	San Gabriel	R. Florido	245.43	Riego, Control de Avenidas
La Boquilla	Lago Toronto	R. Conchos	2,893.57	Riego, Generación Eléctrica
Francisco I. Madero	Las Vírgenes	R. San Pedro	355.29	Riego, Acuacultura, Recreación, Control de Avenidas
Ing. Luis L. León	El Granero	R. Conchos	292.47	Riego, Abrevadero, Control de Avenidas
La Amistad	La Amistad	R. Bravo	4,378.00	Riego, Generación Eléctrica, Recreación, Control de Avenidas, Control de Azolves
El Centenario	El Centenario	R. Manantiales	24.59	Riego, Control de Avenidas
San Miguel	San Miguel	R. San Diego	21.168	Riego, Abrevadero
La Fragua	La Fragua	A. San Rodrigo	47.3	Riego
Venustiano Carranza	Don Martin	R. Salado	1,312.86	Riego
Falcón		R. Bravo	3,912.00	
Derivadora Las Blancas	Las Blancas	R. Álamo		
Cuchillo - Solidaridad	El Cuchillo	R. San Juan	1,123.14	Público Urbano, Riego
Marte R. Gómez	El Azúcar	R. San Juan	781.7	Riego

*Capacidad de almacenamiento al Nivel de Aguas Máximas Ordinario (NAMO);

Fuente: elaboración propia con información de CONAGUA (2010c). Sistema de Información de Seguridad de Presas.

En la siguiente tabla se presenta un resumen de las estadísticas básicas de los registros de aportaciones históricas de las principales presas de almacenamiento, se puede apreciar que la presa La Boquilla tiene el promedio más alto (1,103.34 hm³/año), en contraste con la presa San Miguel con una aportación media anual de 16.37 hm³/año. Asimismo, se observa que la presa San Miguel es la que presenta la mayor variabilidad en las aportaciones, con un coeficiente de variación de 363%, y le siguen la presa La Amistad y La Boquilla, cuyos coeficientes de variación son de 176% y 172%, respectivamente. Para el resto de las presas, el coeficiente de variación es igual o inferior al 151%.

Tabla 9.3. Estadísticas básicas de las aportaciones a las presas de almacenamiento.

Nombre Oficial	Nombre Común	Medio	Mínimo	Máximo	Desviación Estándar	C.V. (%)
Federalismo Mexicano	San Gabriel	148.04	17.84	562.62	117.37	126
La Boquilla	Lago Toronto	1,103.34	161.91	3,606.47	643.21	172
Francisco I. Madero	Las Vírgenes	370.26	36.98	1,031.43	245.82	151
Ing. Luis L. León	El Granero	509.23	0	2,628.08	410.44	124
La Amistad	La Amistad	888.29	353.14	2,612.33	505.58	176
El Centenario	El Centenario	435.05	42.95	1971.96	428.79	101
San Miguel	San Miguel	16.37	8.29	22.79	4.51	363
La Fragua	La Fragua	100.59	3.81	888.13	127.62	79
Venustiano Carraza	Don Martin	479.87	28.46	3,977.92	565.8	85
Falcón		678.97	161.09	3,849.54	666.18	102
Der. Las Blancas	Las Blancas	74.38	6.40	261.64	66.09	113
Cuchillo - Solidaridad	El Cuchillo	667.27	73.8	2,870.39	486.89	137
Marte R. Gómez	El Azúcar	425.11	64.73	1,811.01	280.37	151

En la Figura 9.6 se muestra la variabilidad temporal de las aportaciones de cada presa y los períodos deficitarios con respecto al promedio histórico en cada una de ellas.

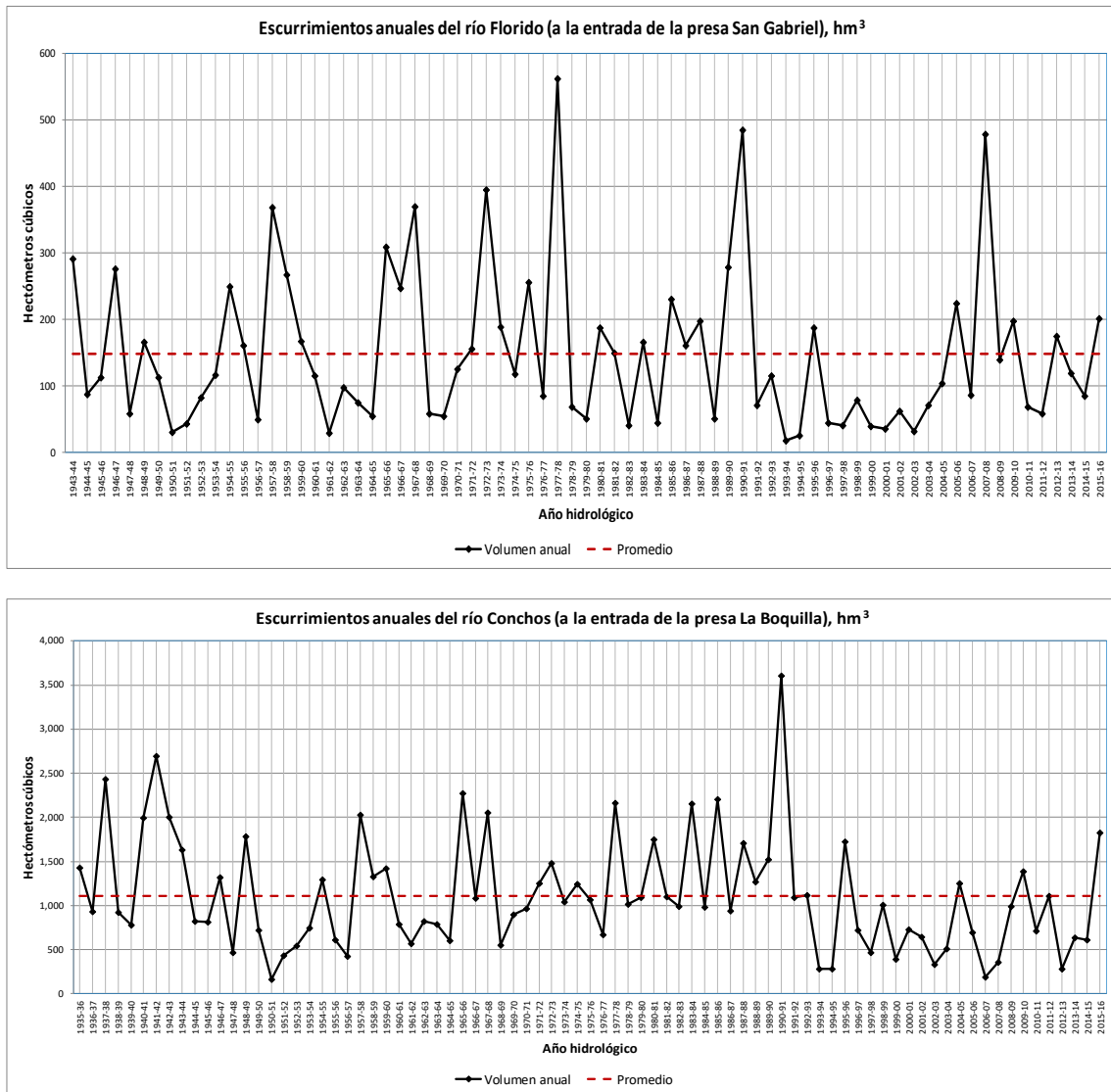


Figura 9.6. Gráficas de aportaciones históricas de agua a las presas de almacenamiento.

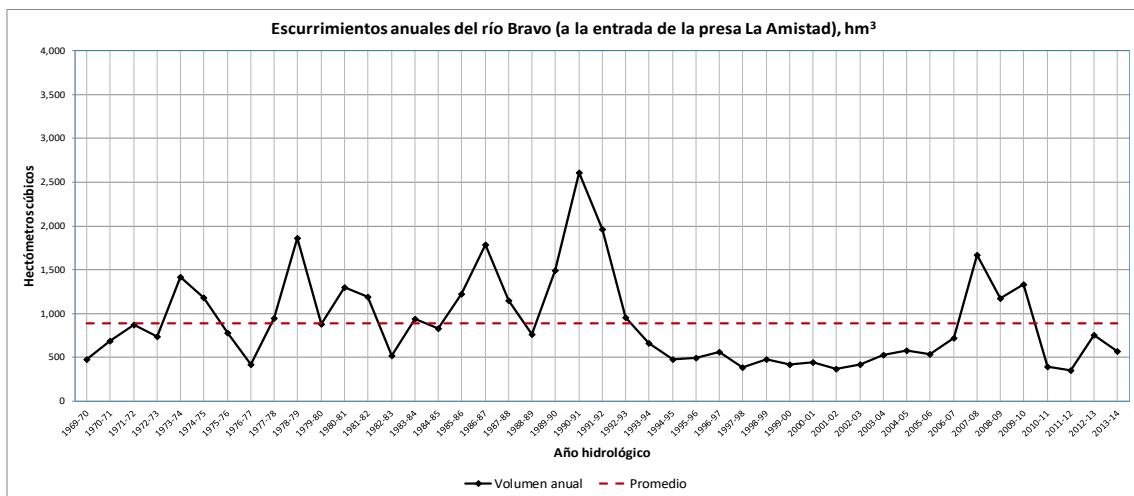
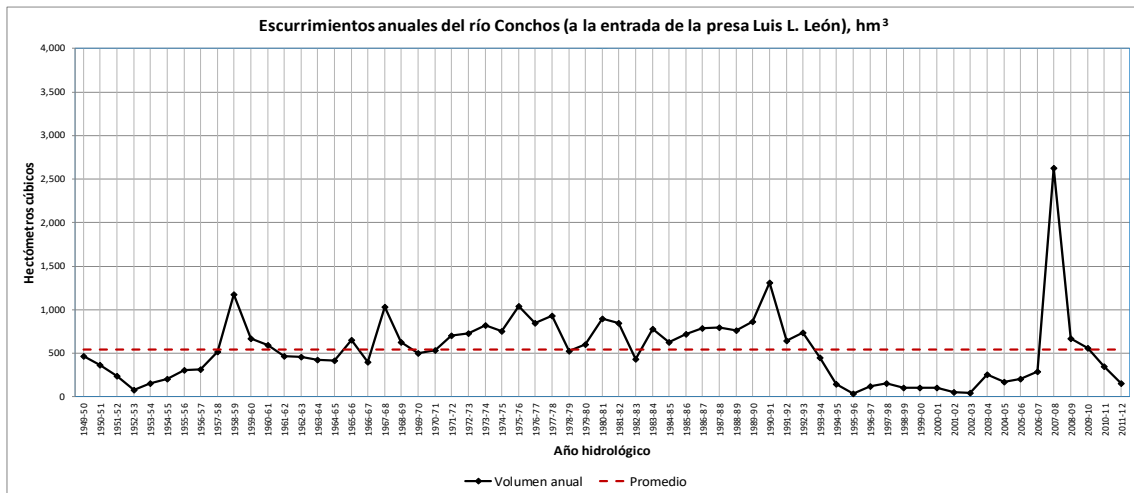
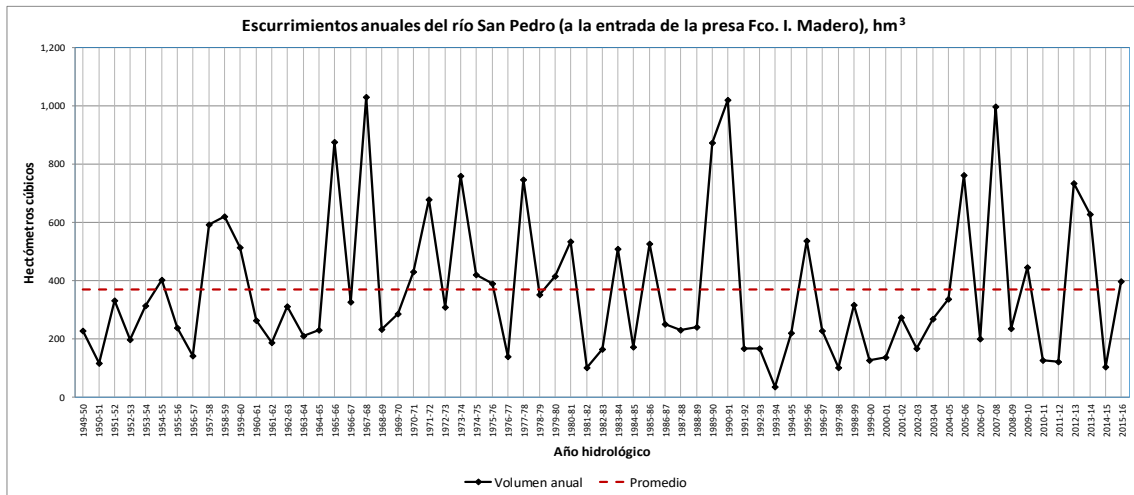


Figura 9.7. Gráficas de aportaciones históricas de agua a las presas de almacenamiento.

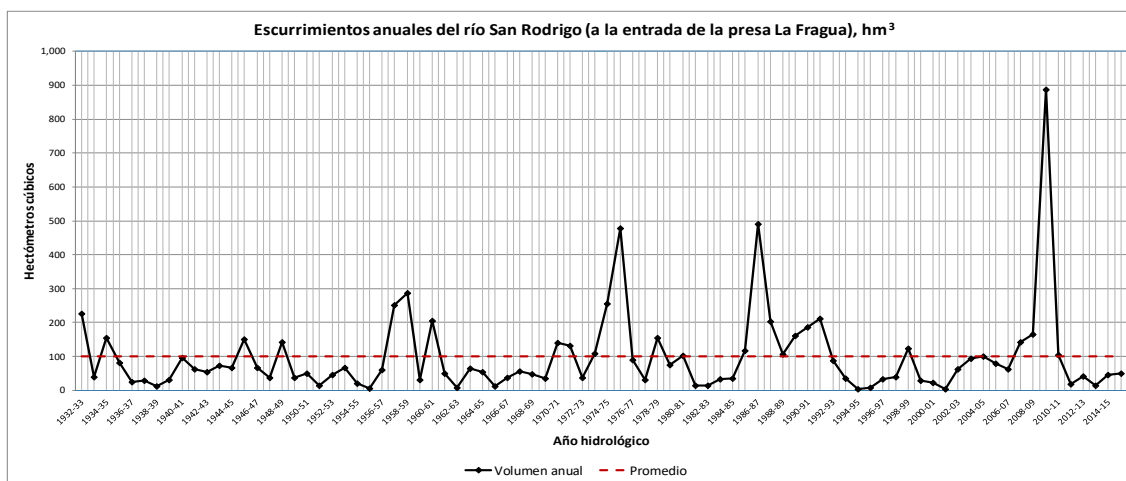
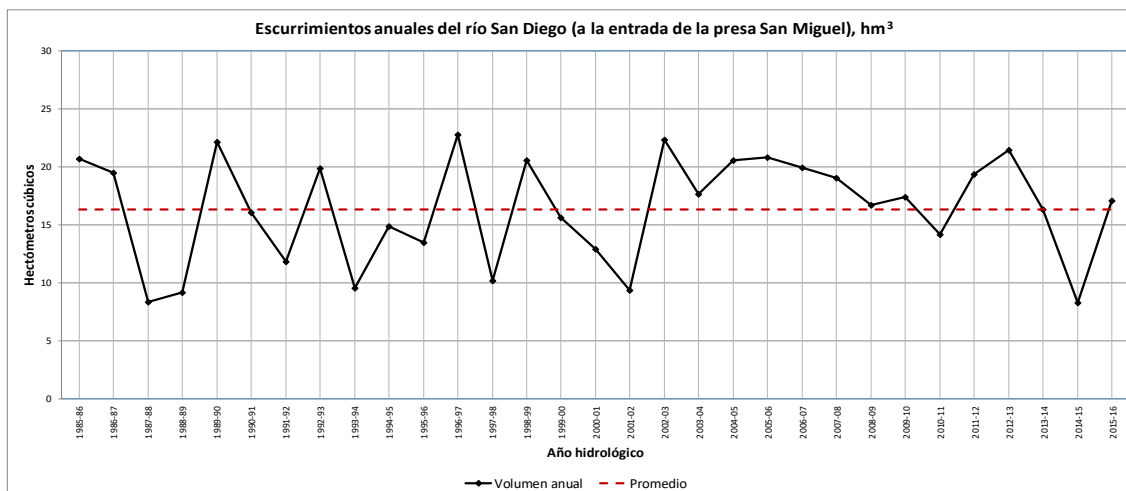
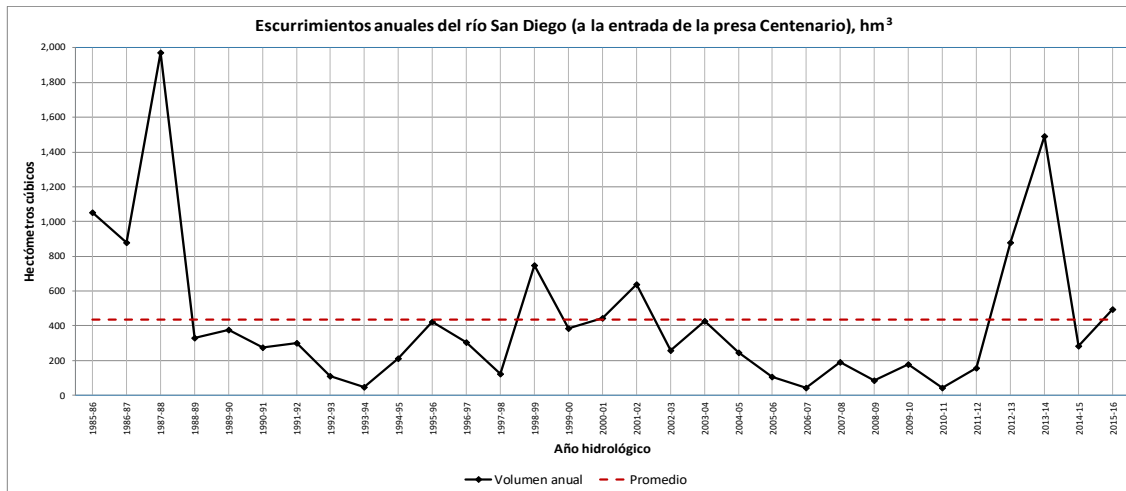


Figura 9.8. Gráficas de aportaciones históricas de agua a las presas de almacenamiento.

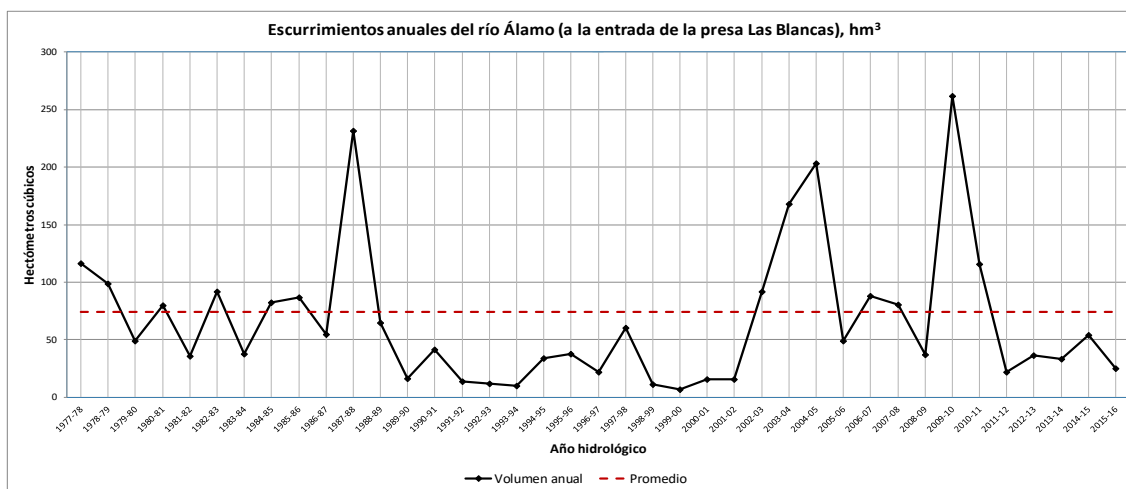
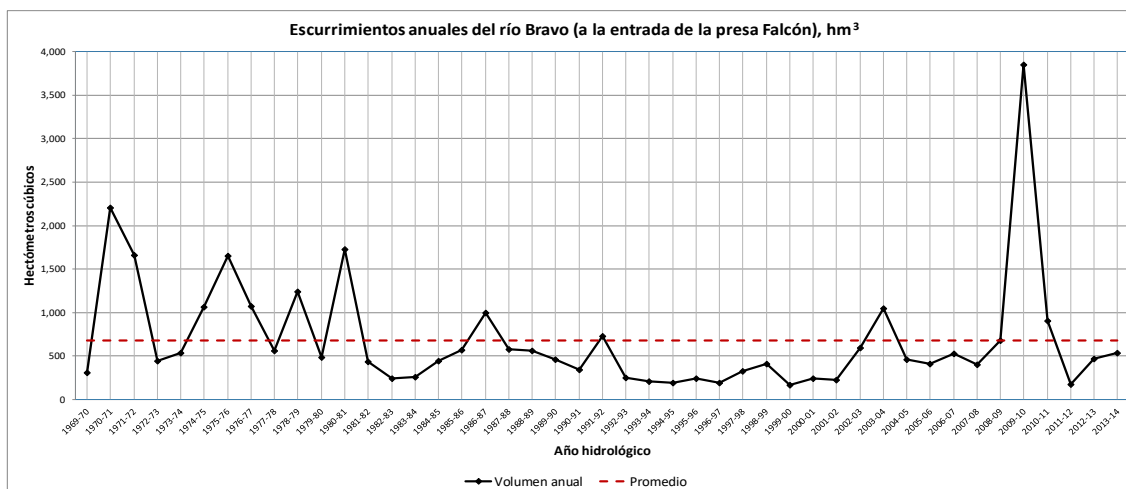
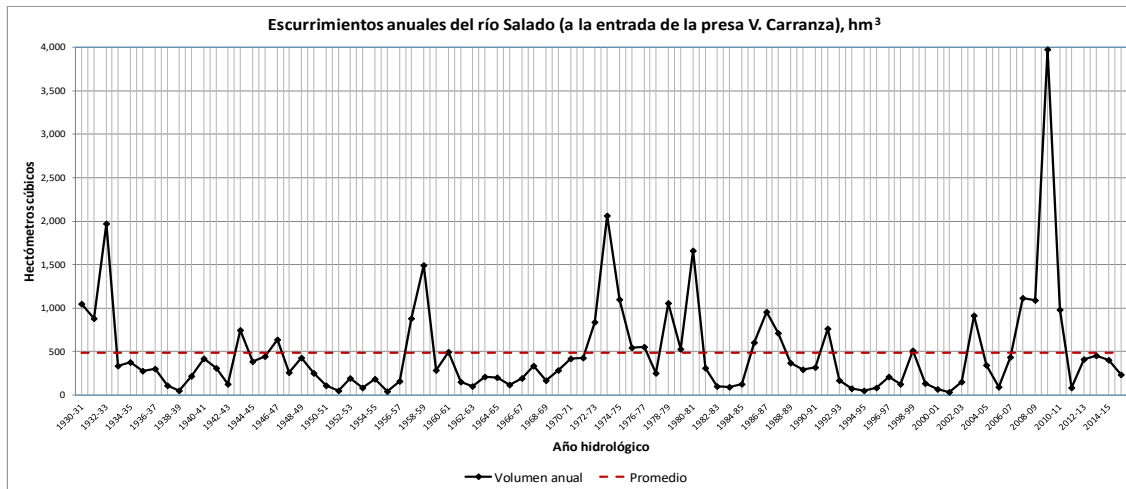


Figura 9.9. Gráficas de aportaciones históricas de agua a las presas de almacenamiento.

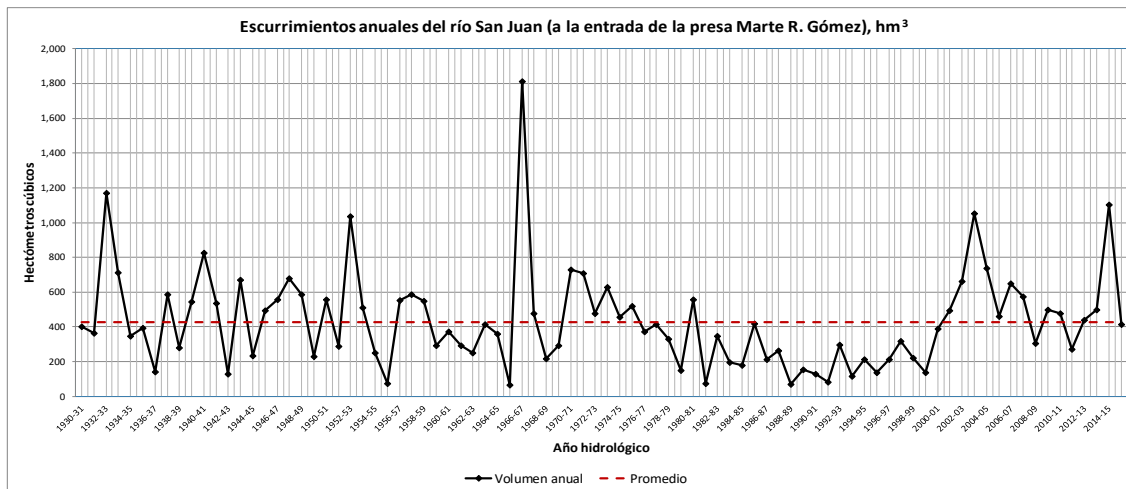
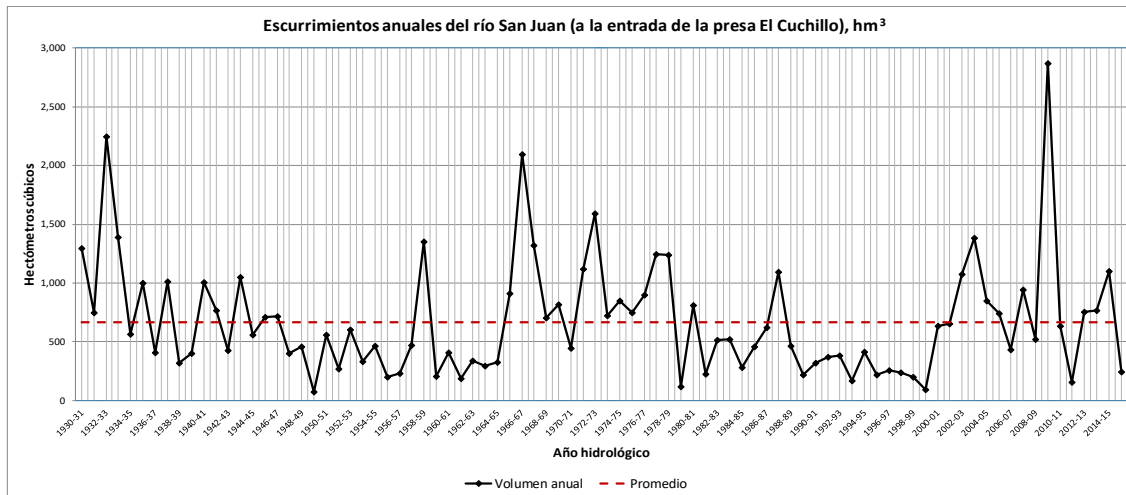


Figura 9.10. Gráficas de aportaciones históricas de agua a las presas de almacenamiento.

La sumatoria de las aportaciones anuales de todas las presas (período 1984 a 2014), registrado en la cuenca del río Bravo es de 5,432.81 hm³.

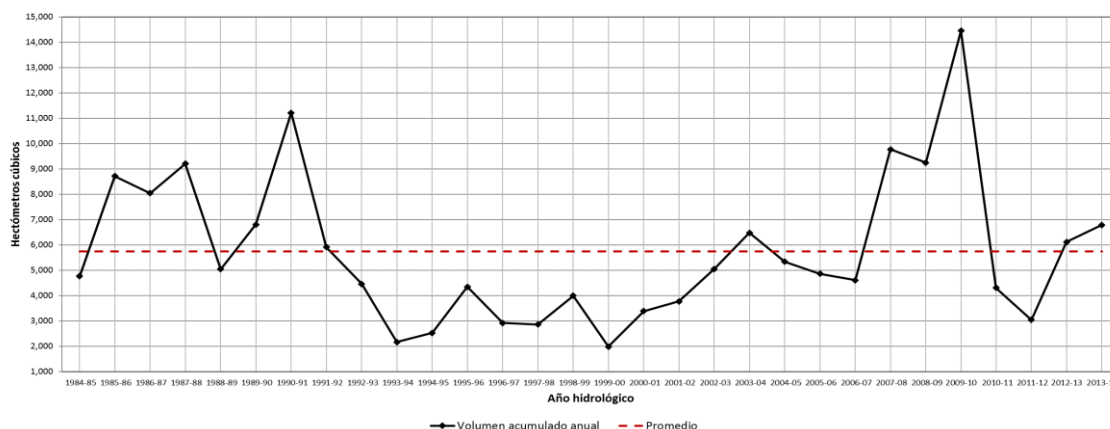


Figura 9.11. Comportamiento histórico de las aportaciones de agua a las principales presas (1984-2014).

En esta figura se puede observar que, en el lapso mencionado, ocurrieron 11 años con aportaciones por debajo de la media de forma consecutiva, que representan el 44% del período de registro. El ciclo con menores aportaciones en las últimas tres décadas ha sido el 1999-2000 en el cual se registró una aportación total anual de 2,021.92 hm³, lo cual representa un déficit de -62.78% con respecto al promedio. El segundo ciclo más seco fue 1993-1994, con una aportación anual de 2115.66 hm³, que equivale a un déficit de -61.05% con relación al valor de la media histórica. Por el contrario, el ciclo con mayores aportaciones de agua a las presas de almacenamiento ha sido 2009-2010, en el cual se registró una aportación total anual de 16,468.29 hm³, que representa más del 303% del promedio histórico.

7.4 CUENCA PROPIA Y ESCURRIMIENTOS AGUAS ABAJO

Tabla 9.4. Cuenca propia (Cp) y Escurrimientos aguas abajo (Ab) de las cuencas del Río Bravo

Subregión	Cuenca		Volumen en hm ³	
	No	Nombre	Cp	Ab
ALTO BRAVO	1	Río Bravo 1	69.9	129.6
	2	Río Bravo 2	21.0	149.4
SEIS TRIBUTARIOS	3	Río Florido 1	121.0	83.8
	4	Río Florido 2	54.6	135.6
	5	Río Florido 3	16.8	-7.9
	6	Río Parral	55.2	49.5
	7	Río Balleza	85.6	85.6
	8	Río Conchos 1	987.0	823.6
	9	Río San Pedro	361.0	293.7
	10	Río Conchos 2	400.0	216.3
	11	Río Chuviscar	6.1	1.8
	12	Río Conchos 3	74.6	244.7
	13	Río Conchos 4	92.7	200.6
	18	Arroyo de las Vacas	17.4	17.4
	19	Río San Diego	210.0	161.3
	21	Río San Rodrigo	121.0	117

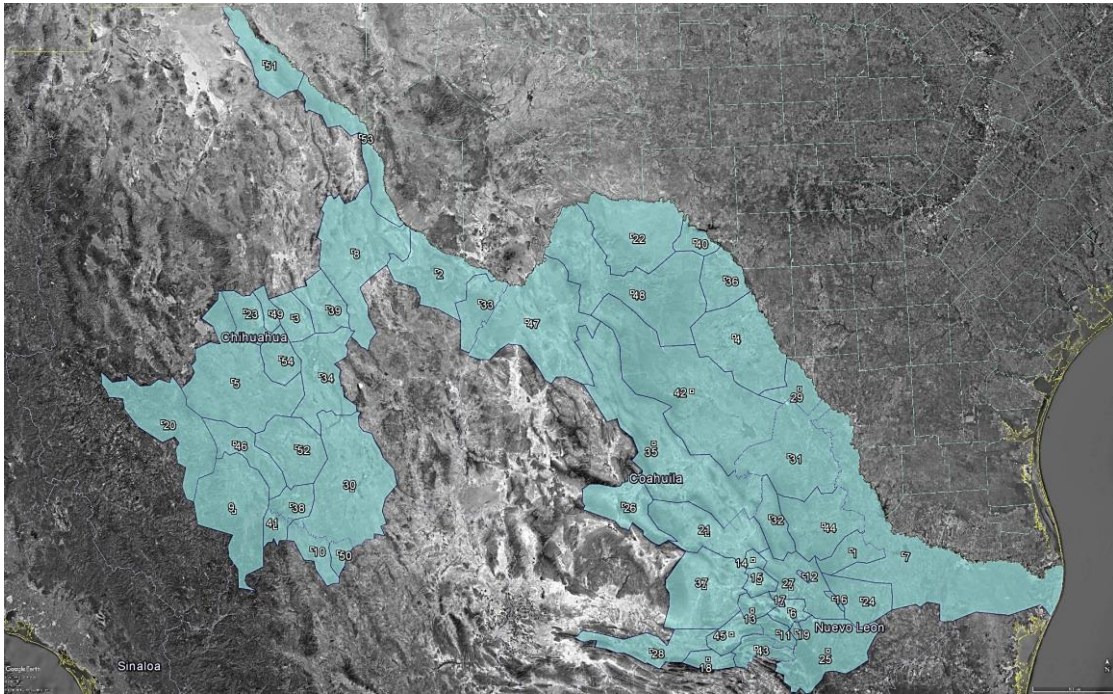
Subregión	Cuenca		Volumen en hm ³	
	No	Nombre	Cp	Ab
	23	Río Escondido	61.4	60.2
	26	Río Sabinas	375.0	346
	27	Río Nadadores	118.0	64.2
	28	Río Salado	348.0	301
	Subtotal		3,506.0	857.5
MEDIO BRAVO	14	Río Bravo 3	26.3	359
	15	Río Bravo 4	197.0	555.3
	16	Río Bravo 5	201.0	589.9
	17	Río Bravo 6	2.8	586
	20	Río Bravo 7	39.7	797.2
	22	Río Bravo 8	11.7	905.9
	24	Río Bravo 9	16.5	926.2
	25	Río Bravo 10	84.4	951.5
	29	Río Bravo 11	45.0	1097
	Subtotal		624.0	665.7
BAJO BRAVO	30	Río Álamo	109	36.2
	31	Río Salinas	34.1	7.3
	32	Río Pesquería	102.0	32.6
	33	Río San Juan 1	763.0	71
	34	Río San Juan 2	41.2	120.8
	35	Río San Juan 3	186.0	-405.3
	36	Río Bravo 12	103.0	-516.6
	37	Río Bravo 13	28.2	0.9

Fuente: Diario Oficial de la Federación (DOF2011) río Bravo

10. EVALUACIÓN DE LOS BALANCES HIDROGEOLÓGICOS DE ACUÍFEROS TRANSFRONTERIZOS

8.1 BALANCE GENERAL

El objetivo fundamental de los balances hidráulicos consiste en identificar, a nivel de cuenca hidrológica contemplando los 54 acuíferos identificados mostrados en la siguiente figura general, los problemas actuales que prevalecen en el recurso agua sobre su disponibilidad, su extracción y su demanda, tanto en vasos superficiales como en acuíferos subterráneos.



Los 54 acuíferos identificados fueron organizados en 5 secciones para facilitar la apreciación del balance hidrológico (figuras 8.1 – 8.5)

Se presentan las definiciones de la nomenclatura utilizada en las figuras:

- Eh = Entradas por flujo horizontal
- DNC = Descarga natural comprometida
- In = Infiltración en canales
- Rap = Recarga por pérdidas en sistema de agua potable y alcantarillado
- Rr = Retorno por riego
- Rsb = Recarga en la Sierra del Burro
- Rv = Recarga vertical
- Sh = Salidas por flujo horizontal
- Ext = Extracción total
- Rin = Recarga inducida
- Rc = Recarga en calizas

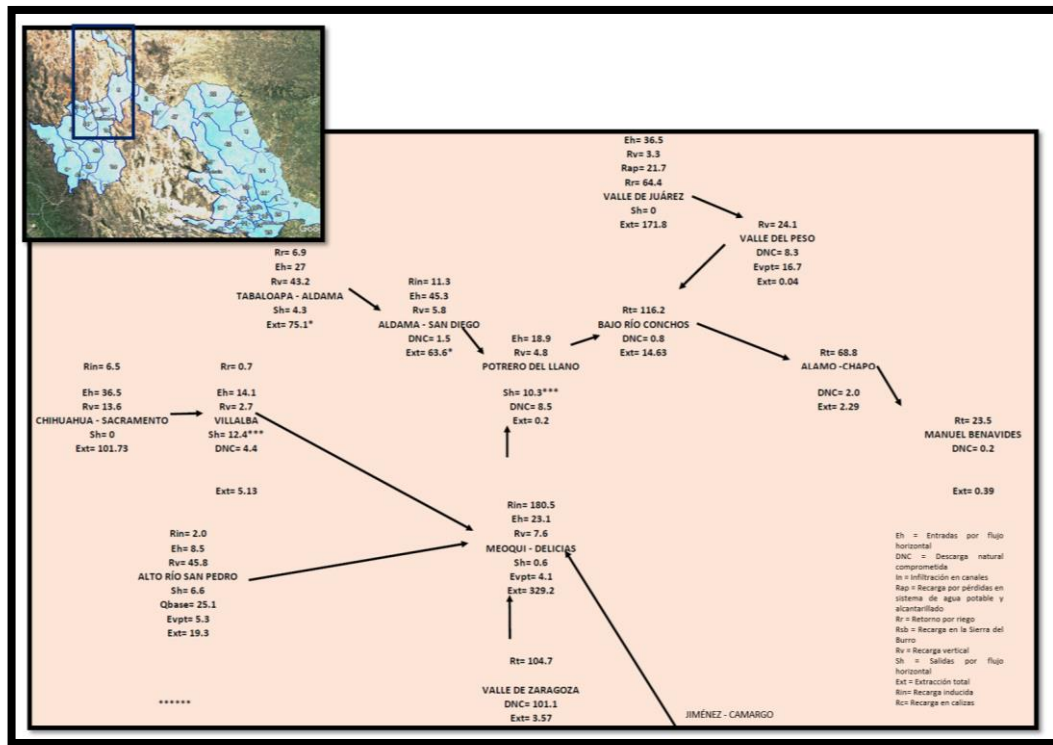


Figura 10.1. Balance de aguas subterráneas (Zona 1)

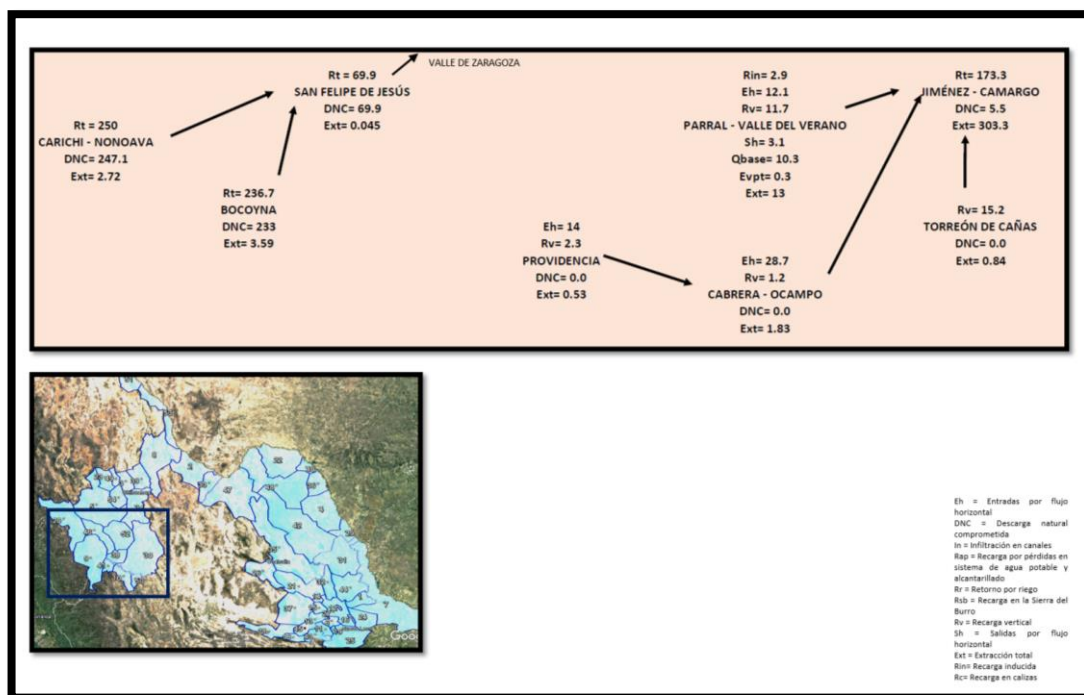


Figura 10.2. Balance de aguas subterráneas (Zona 2)

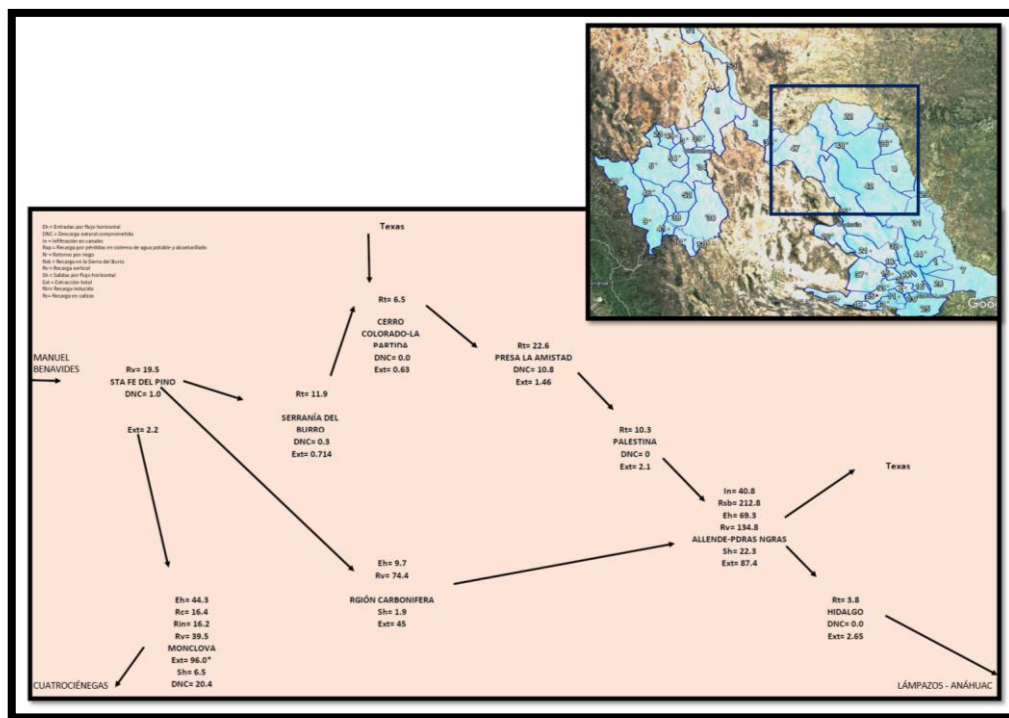


Figura 10.3. Balance de aguas subterráneas (Zona 3)

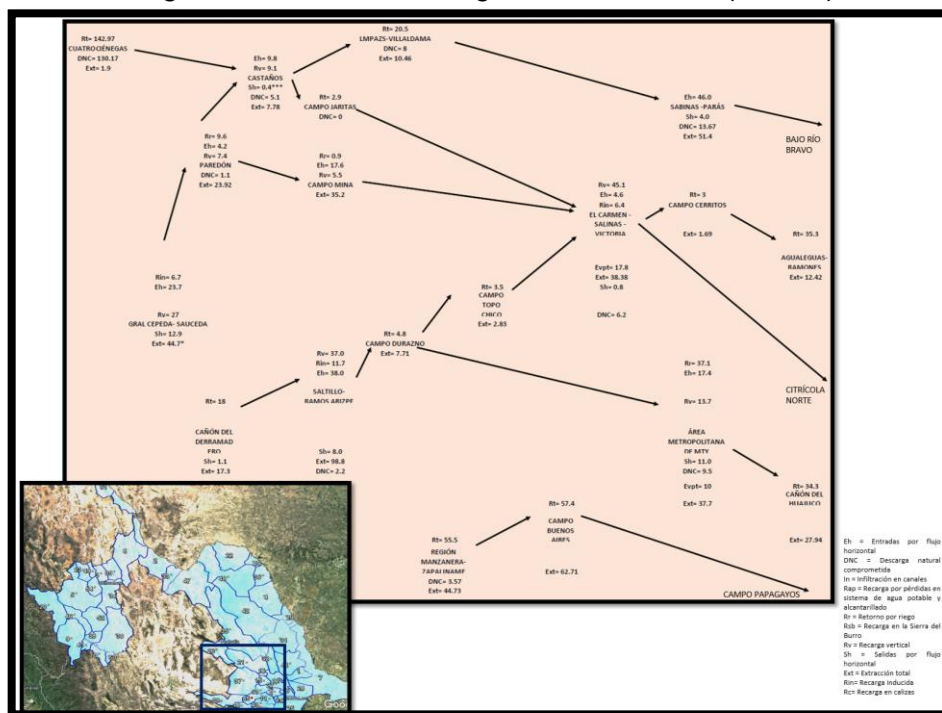


Figura 10.4. Balance de aguas subterráneas (Zona 4)

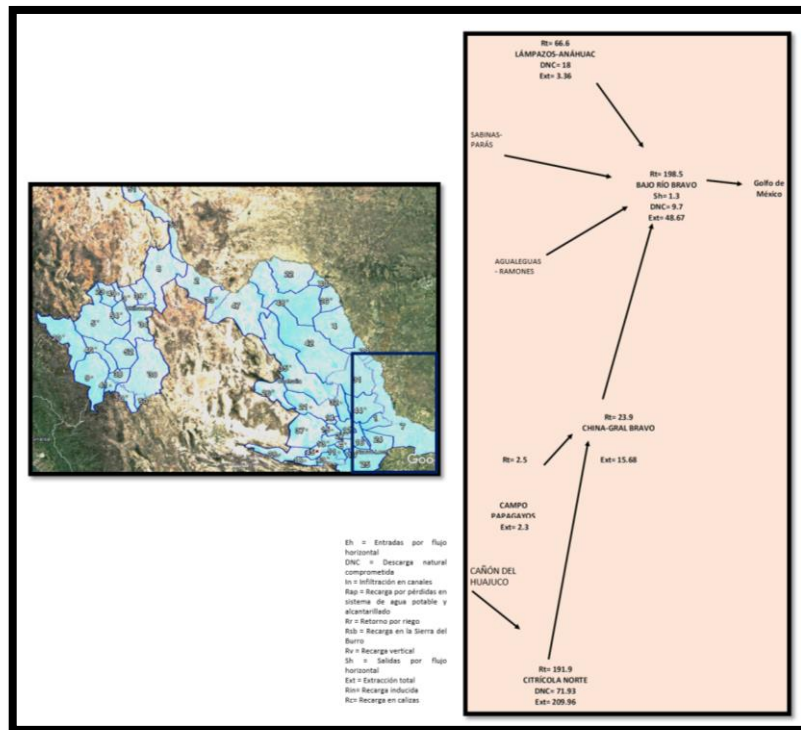


Figura 10.5. Balance de aguas subterráneas (Zona 5)

8.2 DIRECCIÓN DE FLUJO

A continuación se presenta una lista de los acuíferos con su respectiva dirección de flujo.

8.2.1 Agualeguas – Ramones

El acuífero Agualeguas – Ramones, clave 1905, ubicado en el estado de Nuevo León, coordenadas 26°25'48.6" N y 99°27'37.6" O, muestra un flujo preferencial en dirección noreste rumbo al acuífero Bajo Río Bravo.

La entrada de flujo proviene del acuífero El Carmen – Salinas – Victoria.

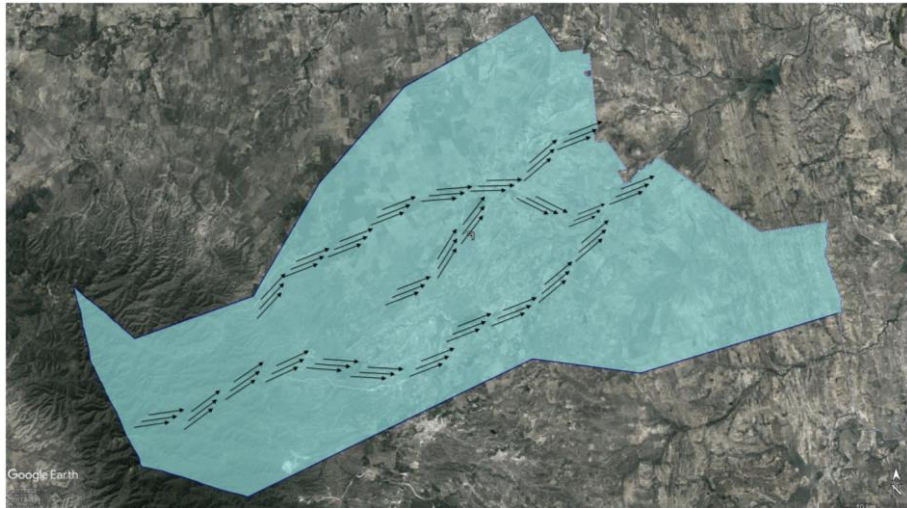


Figura 10.6. Dirección de flujo Agualeguas - Ramones

8.2.2 Alamo Chapo

El acuífero Alamo – Chapo, clave 0842, ubicado en el estado de Chihuahua, coordenadas $29^{\circ}2'39.5''$ N y $103^{\circ}25'58.5''$ O, muestra un flujo en dirección sureste rumbo al acuífero Manuel Benavides.

La entrada de flujo proviene del acuífero Bajo Río Conchos.

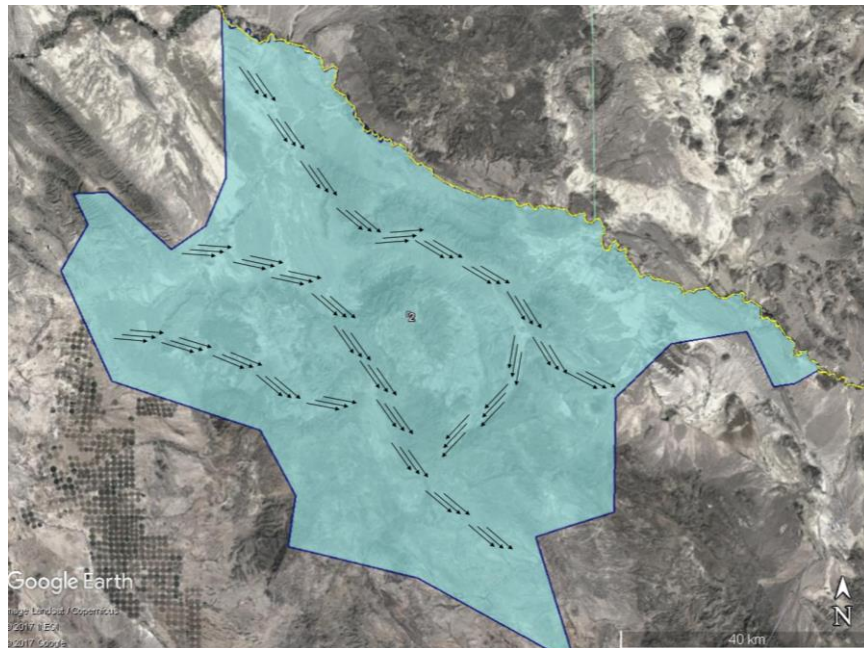


Figura 10.7. Dirección de flujo Alamo - Chapo

8.2.3 Aldama – San Diego

El acuífero Aldama – San Diego, clave 0836, ubicado en el estado de Chihuahua, coordenadas $28^{\circ}26'16.3''$ N y $105^{\circ}45'24.7''$ O, muestra un flujo en dirección sureste-este rumbo al acuífero Meoqui - Delicias.

La entrada de flujo proviene del acuífero Tabalaopa – Aldama.



Figura 10.8. Dirección de flujo Aldama – San Diego

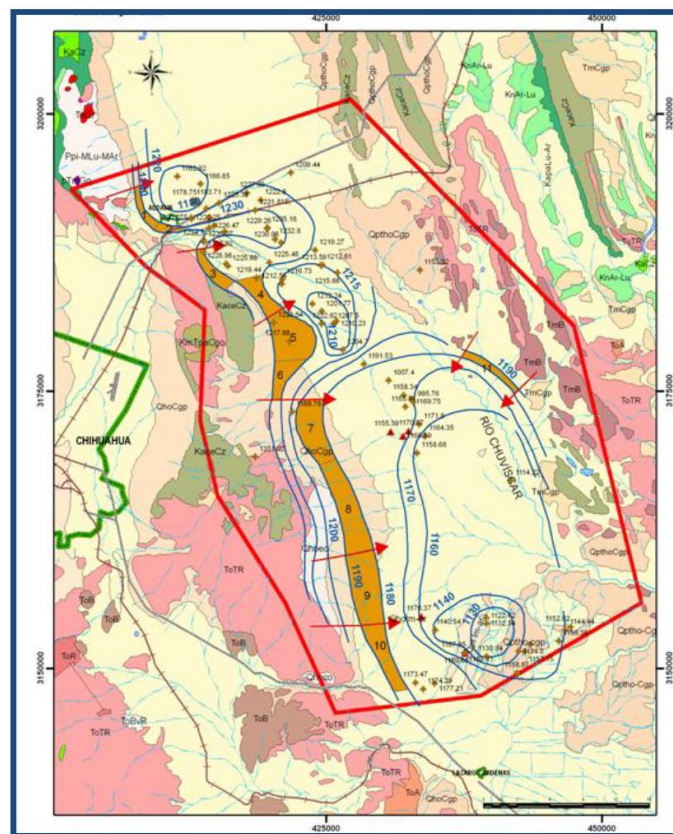


Figura 10.9. Elevación del nivel estático 2007, Aldama – San Diego (CONAGUA, 2015)

8.2.4 Allende – Piedras Negras

El acuífero Allende – Piedras Negras, clave 0501, ubicado en el estado de Coahuila, coordenadas 28°0'36.0" N y 99°59'59.97" O, muestra un flujo preferencial en dirección noreste rumbo al estado de Texas, E.U.A. y parte del flujo se desvía en dirección sureste rumbo al acuífero Lampazos-Anáhuac

La entrada de flujo proviene de los acuíferos Región Carbonífera e Hidalgo.



Figura 10.10. Dirección de flujo Allende – Piedras Negras

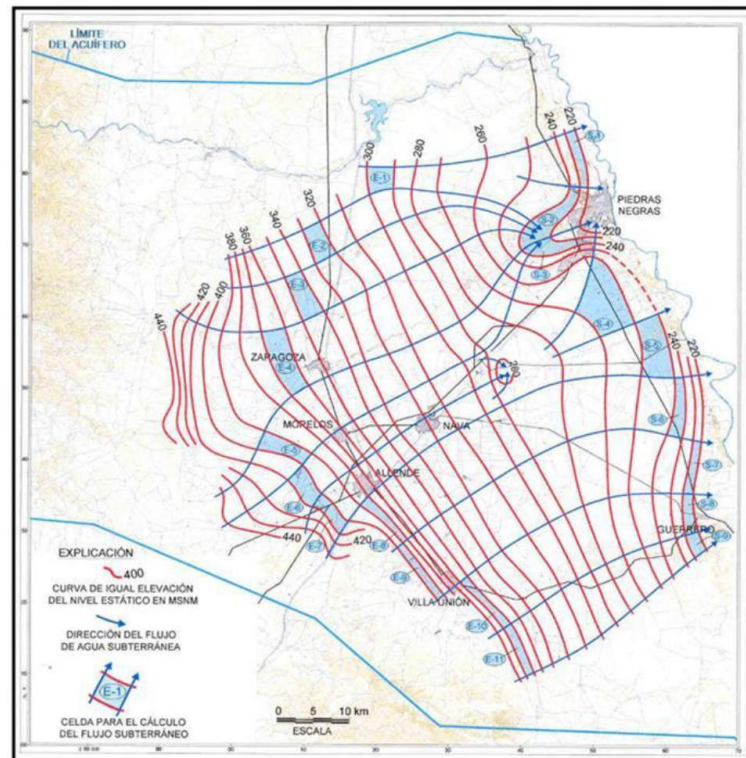


Figura 10.11. Elevación del nivel estático 2008, Allende – Piedras Negras, msnm (CONAGUA, 2015)

8.2.5 Alto Río San Pedro

El acuífero Alto Río San Pedro, clave 0838, ubicado en el estado de Chihuahua, coordenadas $27^{\circ}42'7.4''$ N y $105^{\circ}45'1.8''$ O, muestra un flujo en dirección sureste-noreste rumbo al acuífero Hidalgo.

La entrada de flujo proviene de los acuíferos aledaños Laguna de Mexicanos y Cuauhtémoc.

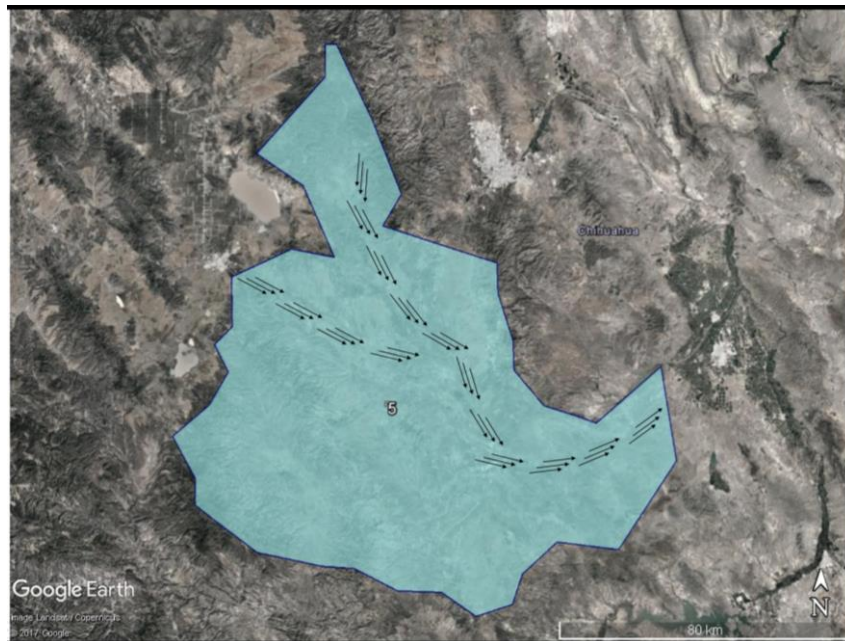


Figura 10.12. Dirección de flujo Alto Río San Pedro

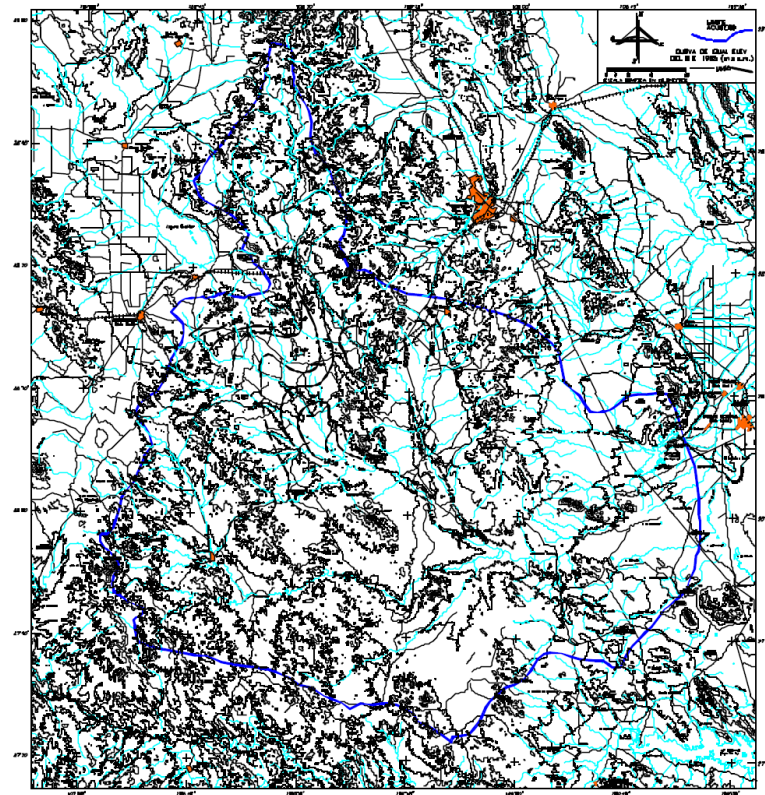


Figura 10.13. Elevación del nivel estático 1985, Alto Río San Pedro, msnm (CONAGUA, 2015)

8.2.6 Área Metropolitana de Monterrey

El acuífero Área Metropolitana de Monterrey, clave 1906, ubicado en el estado de Nuevo León, entre los paralelos 25°45'41.6" N y 100°22'11.3" O, muestra un flujo en dirección Este rumbo al acuífero El Carmen – Salinas – Victoria.

La entrada de flujo se estima proviene del acuífero Campo Durazno.



Figura 10.14. Dirección de flujo Área Metropolitana de Monterrey

8.2.7 Bajo Río Bravo

El acuífero Bajo Río Bravo, clave 2801, ubicado en el estado de Tamaulipas, coordenadas 26°7'33.3" N y 99°23'35.0" O, muestra un flujo preferencial en dirección sureste desembocando en el Golfo de México.

La entrada de flujo proviene de los acuíferos Lampazos – Anáhuac y Agualeguas – Ramones.

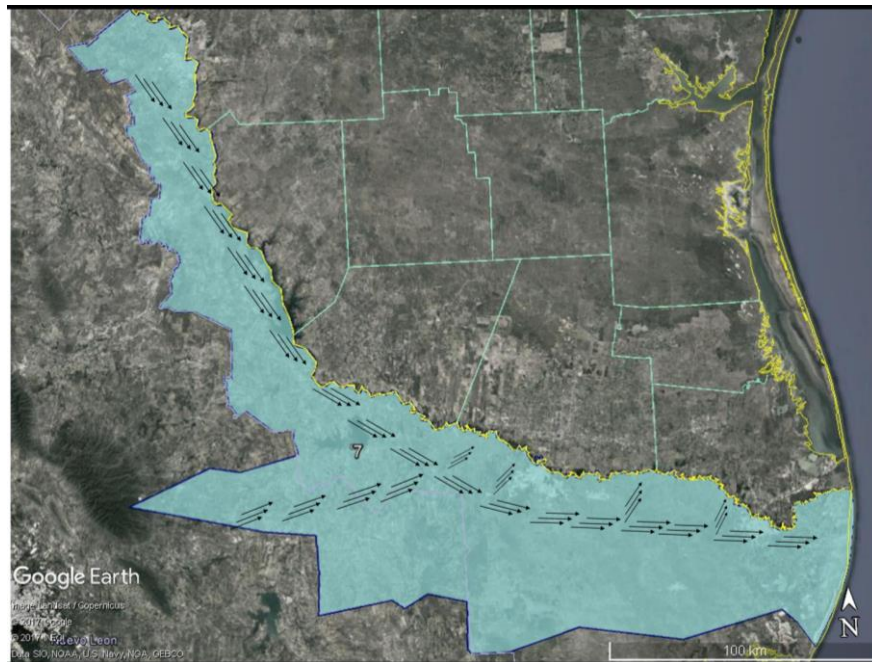


Figura 10.15. Dirección de flujo Bajo Río Bravo

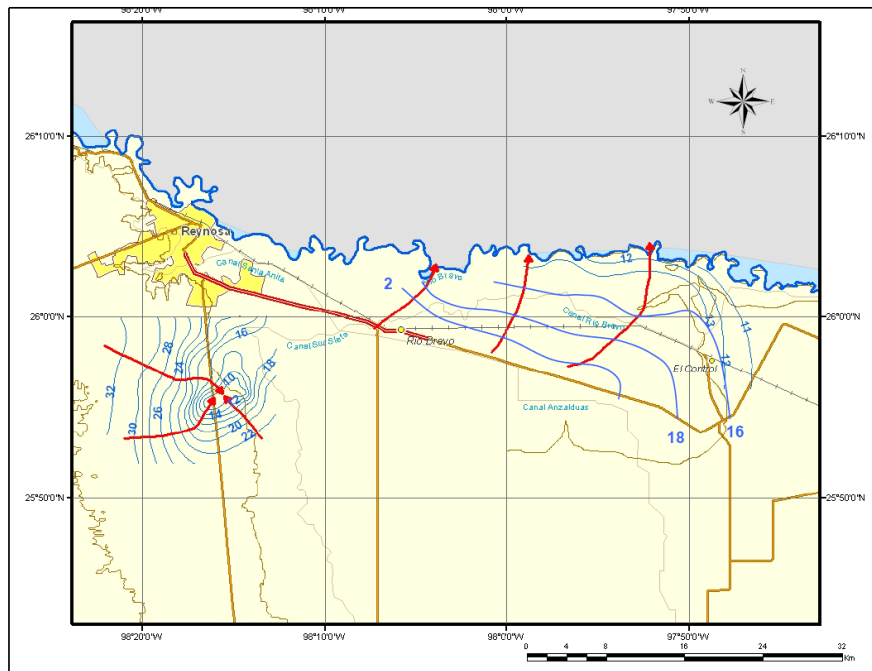


Figura 10.16. Elevación del nivel estático 2006, Bajo Río Bravo, msnm (CONAGUA, 2015)

8.2.8 Bajo Río Conchos

El acuífero Bajo Río Conchos, clave 0837, ubicado en el estado de Chihuahua, coordenadas 29°15'38.8" N y 99°23'35.0" O, muestra un flujo preferencial en dirección noreste y en menor proporción en direcciones sureste, ambas rumbo al acuífero Álamo Chapo.

La entrada de flujo proviene de los acuíferos Potrero del Llano y Valle del Peso.

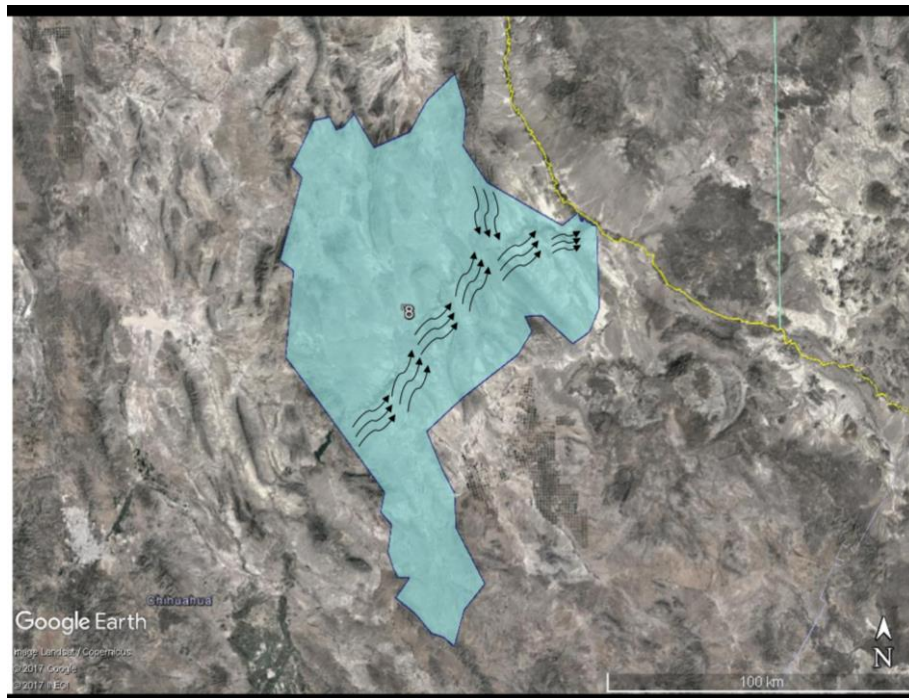


Figura 10.17. Dirección de flujo Bajo Río Conchos

8.2.9 Bocoyna

El acuífero Bocoyna, clave 0843, ubicado en el estado de Chihuahua, coordenadas 26°42'23.9" N y 106°3'10.5" O, muestra un flujo preferencial en dirección norte-noreste rumbo al acuífero San Felipe de Jesús.

La entrada de flujo proviene del acuífero Río Fuerte.



Figura 10.18. Dirección de flujo Bocoyna

8.2.10 Cabrera – Ocampo

El acuífero Cabrera – Ocampo, clave 1008, ubicado en el estado de Durango, coordenadas $26^{\circ}41'22.5''$ N y $105^{\circ}43'39.6''$ O, muestra dos flujos: sureste y norte-noreste ambos presentan una salida en dirección noreste rumbo al acuífero Jiménez – Camargo.

La entrada de flujo proviene de los acuíferos Providencia y Matalotes – El Oro.



Figura 10.19. Dirección de flujo Cabrera - Ocampo

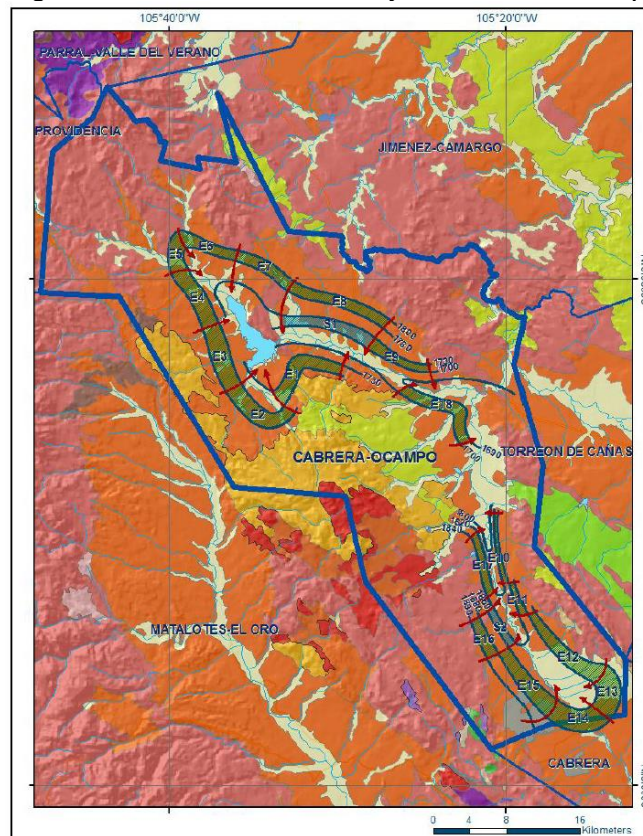


Figura 10.20. Elevación del nivel estático 2010, Cabrera - Ocampo, msnm (CONAGUA, 2015)

8.2.11 Campo Buenos Aires

El acuífero Campo Buenos Aires, clave 1907, ubicado en el estado de Nuevo León, coordenadas 25°37'50.9" N y 100°39'14.5" O, muestra un flujo preferencial en dirección este-sureste rumbo al acuífero Cañón del Huajuco.

La entrada de flujo proviene de los acuíferos Región Manzanera – Zapaliname y Campo Buenos Aires.

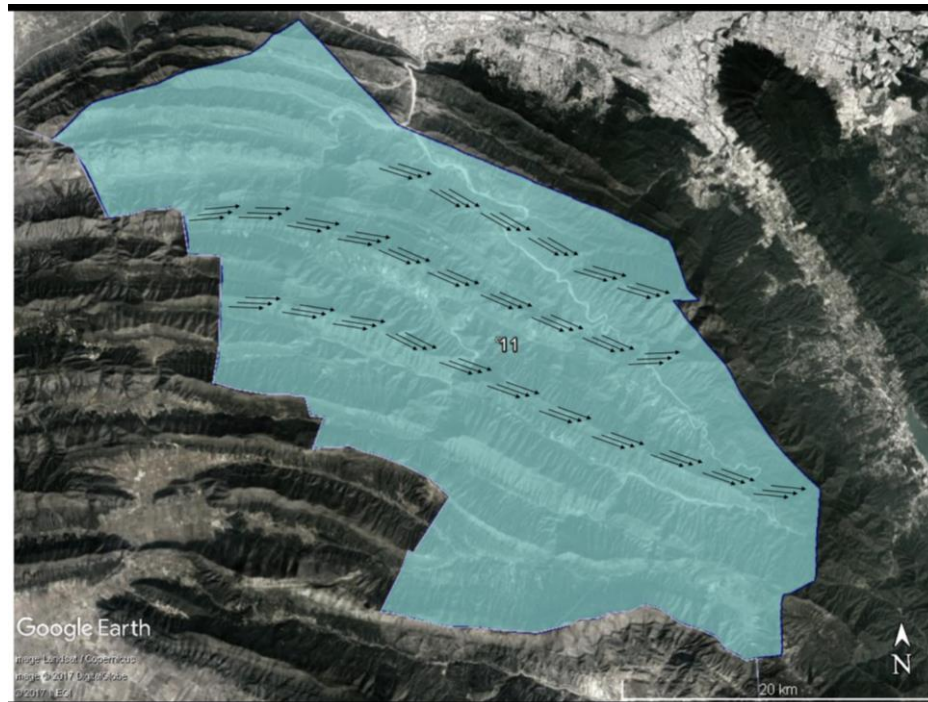


Figura 10.21. Dirección de flujo Campo Buenos Aires

8.2.12 Campo Cerritos

El acuífero Campo Cerritos, clave 1919, ubicado en el estado de Nuevo León, coordenadas 26°3'0.7" N y 100°4'0.3" O, muestra un flujo preferencial en dirección noreste rumbo al acuífero El Carmen – Salinas – Victoria.

La entrada de flujo proviene del acuífero El Carmen – Salina – Victoria.

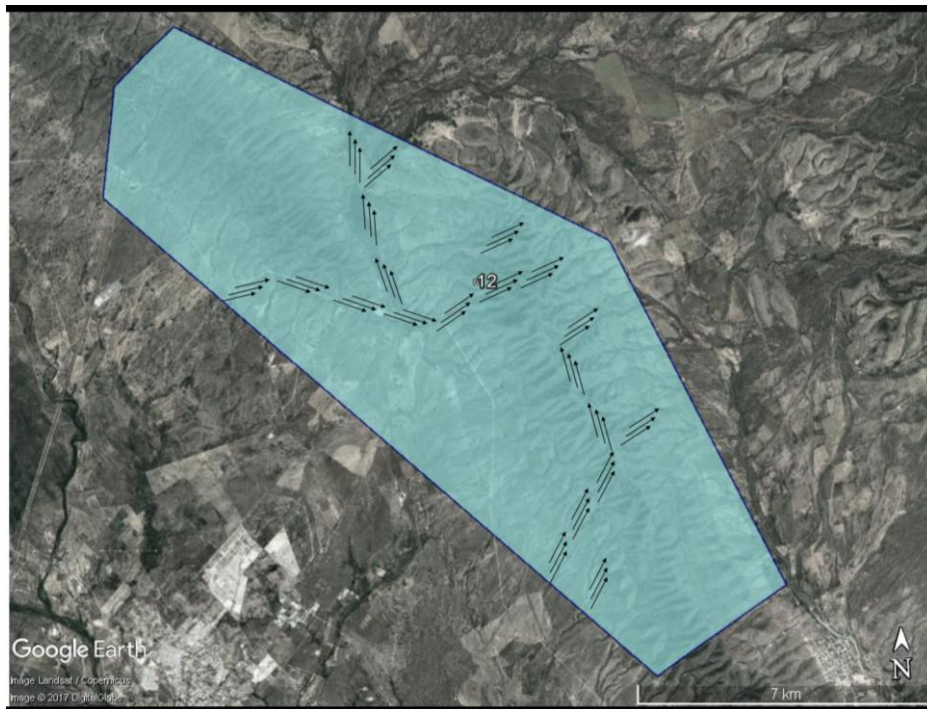


Figura 10.22. Dirección de flujo Campo Cerritos

8.2.13 Campo Durazno

El acuífero Campo Durazno, clave 1909, ubicado en el estado de Nuevo León, coordenadas $25^{\circ}53'55.1''$ N y $100^{\circ}44'28.4''$ O, muestra un flujo preferencial en dirección este-noreste rumbo al acuífero Campo Topo Chico.

La entrada de flujo proviene del acuífero Saltillo – Ramos Arizpe.

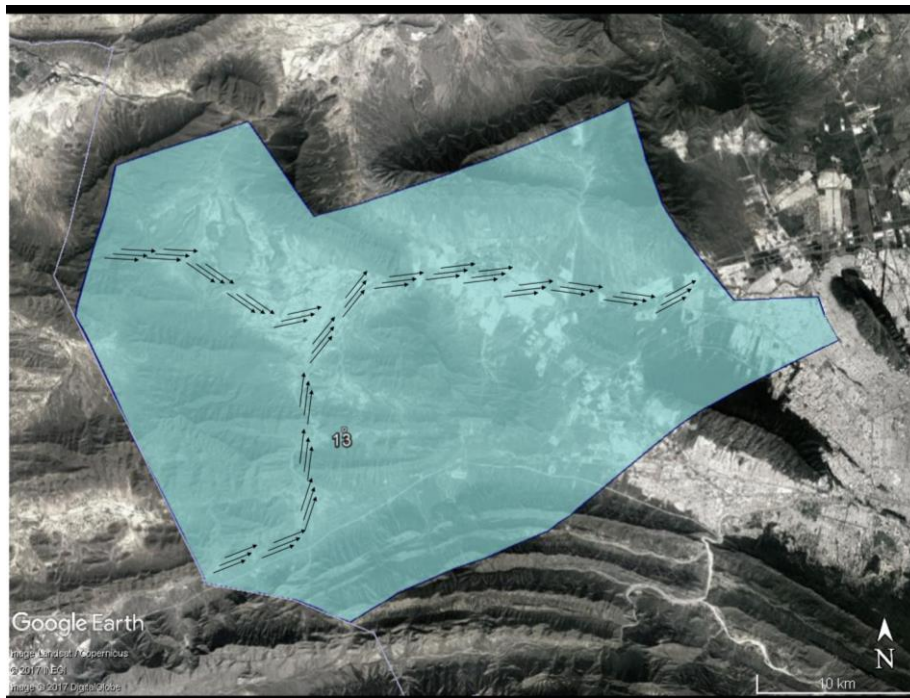


Figura 10.23. Dirección de flujo Campo Durazno

8.2.14 Campo Jaritas

El acuífero Campo Jaritas, clave 1918, ubicado en el estado de Nuevo León, coordenadas $26^{\circ}7'7.0''$ N y $100^{\circ}33'27.7''$ O, muestra dos flujos: sureste y noreste ambos presentan una salida en dirección Este rumbo al acuífero El Carmen – Salinas – Victoria.

La entrada de flujo proviene de los acuíferos Castaños y Campo Mina.

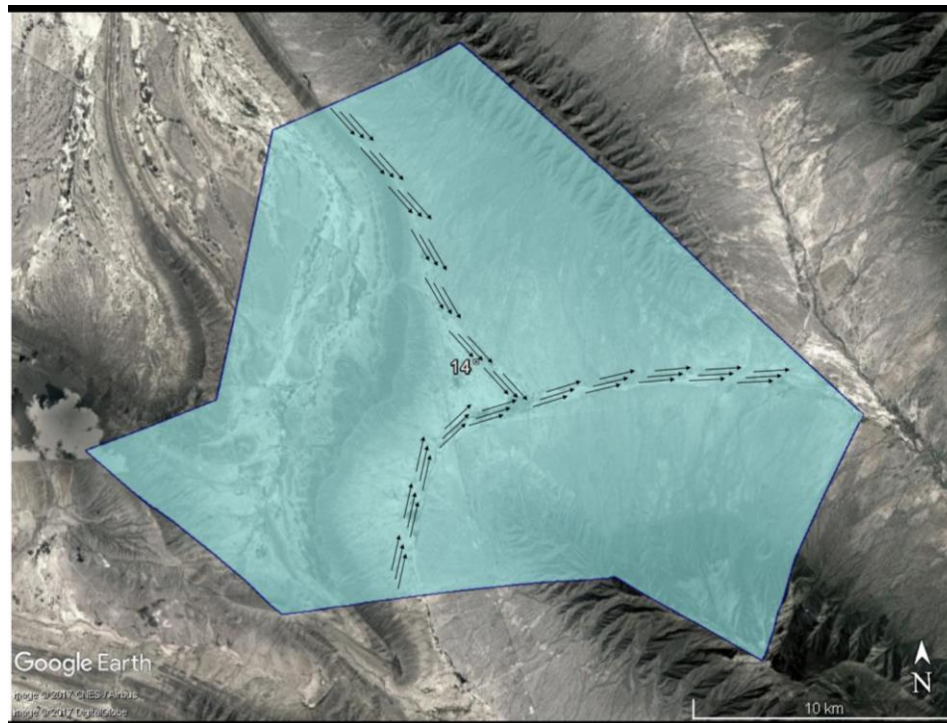


Figura 10.24. Dirección de flujo Campo Jaritas

8.2.15 Campo Mina

El acuífero Campo Mina, clave 1908, ubicado en el estado de Nuevo León, coordenadas $25^{\circ}54'0.5''$ N y $100^{\circ}29'59.7''$ O, muestra dos flujos: sureste y noreste ambos presentan una salida en dirección noreste rumbo al acuífero Campo Cerritos.

La entrada de flujo proviene del acuífero Paredón.

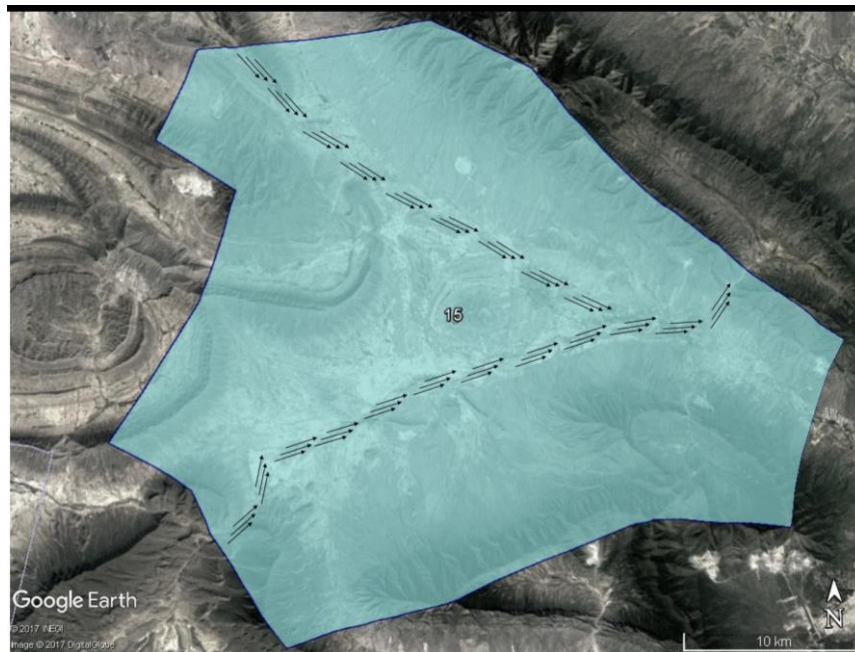


Figura 10.25. Dirección de flujo Campo Mina

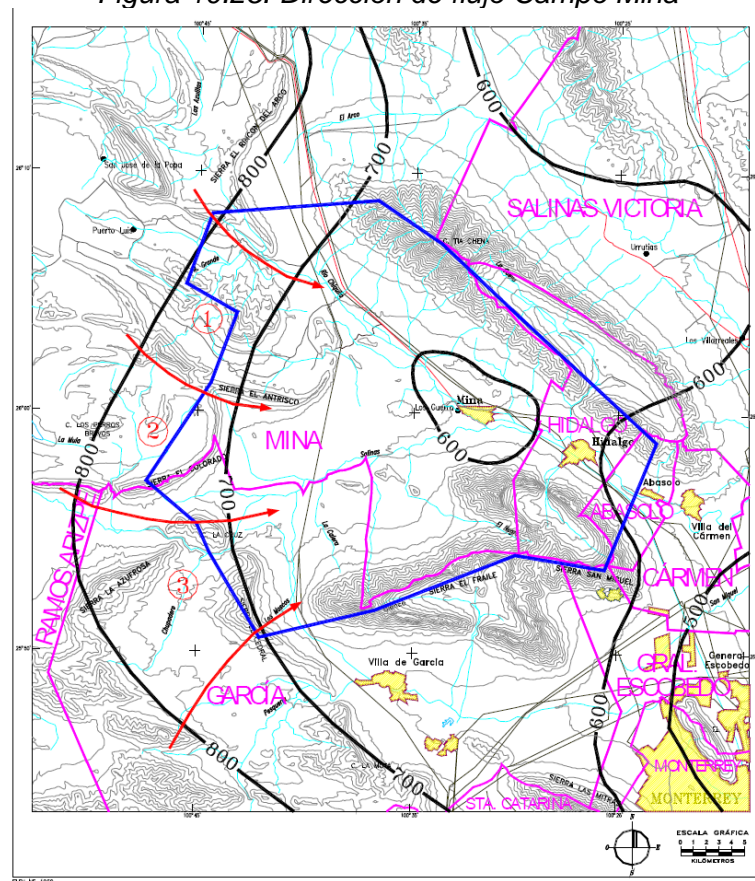


Figura 10.26. Elevación del nivel estático 1969, Campo Mina, msnm (CONAGUA, 2015)

8.2.16 Campo Papagayos

El acuífero Campo Papagayos, clave 1920, ubicado en el estado de Nuevo León, coordenadas 25°39'37.5" N y 99°40'58.4" O, muestra dos flujos: sureste y noroeste ambos presentan una salida en dirección noreste rumbo al acuífero El Carmen – Salinas – Victoria.

La entrada de flujo proviene de los acuíferos Campo Durazno y Paredón.

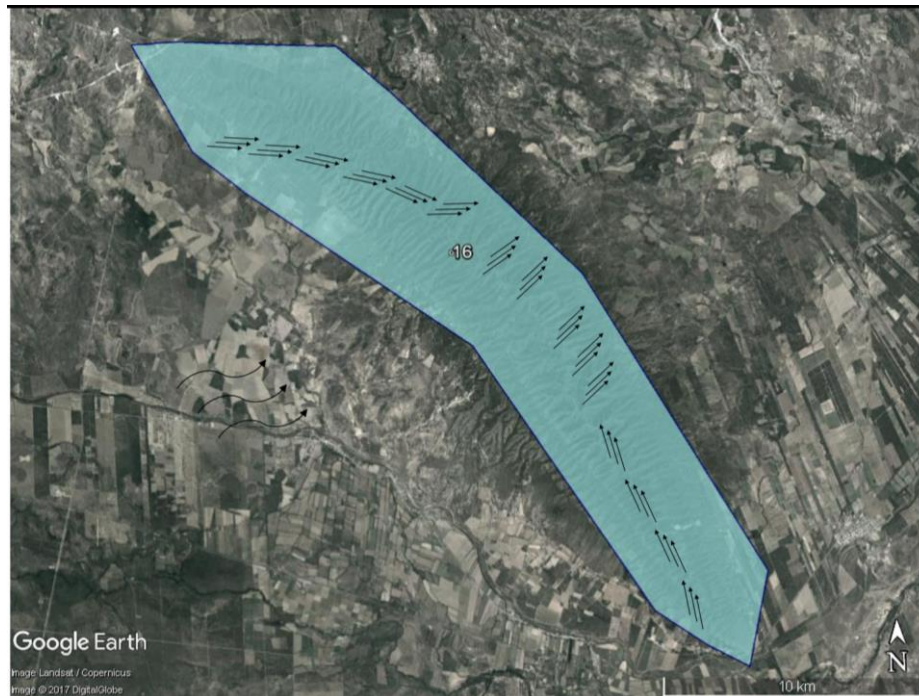


Figura 10.27. Dirección de flujo Campo Papagayos

8.2.17 Campo Topo Chico

El acuífero Campo Topo Chico, clave 1910, ubicado en el estado de Nuevo León, coordenadas 25°48'31.9" N y 100°21'36.7" O, muestra un flujo preferencial en dirección noreste siguiendo el flujo del acuífero Área Metropolitana de Monterrey.

La entrada de flujo proviene de los acuíferos Campo Durazno y Área Metropolitana de Monterrey.

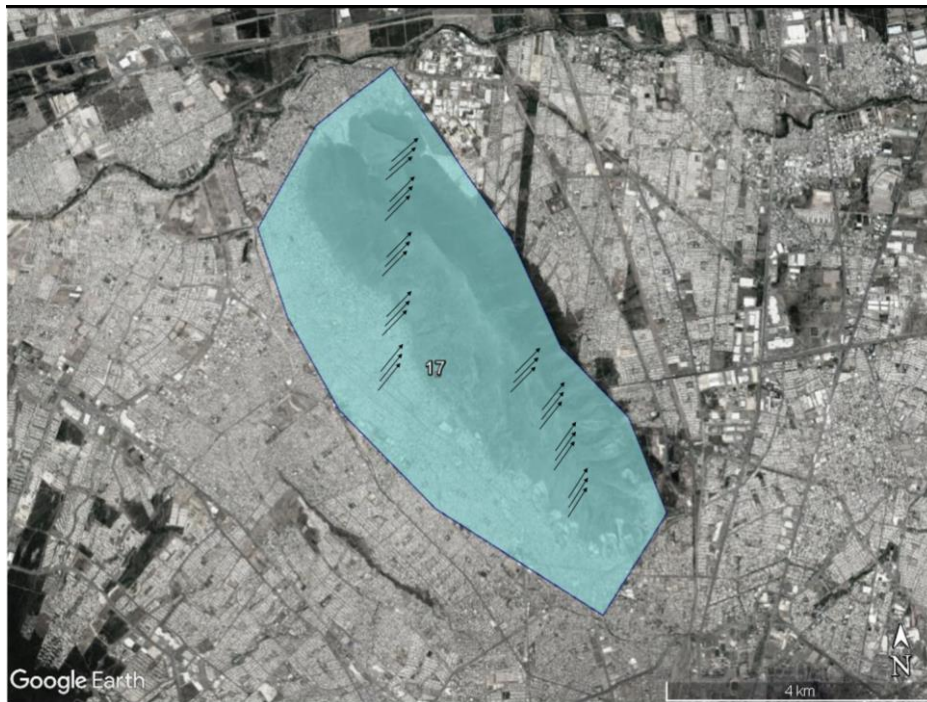


Figura 10.28. Dirección de flujo Campo Topo Chico

8.2.18 Cañón del Derramadero

El acuífero Cañón del Derramadero, clave 0502, ubicado en el estado de Coahuila, coordenadas 25°20'47.9" N y 101°8'20.2" O, muestra un flujo preferencial en dirección noroeste-noreste hacia los acuíferos General Cepeda – Saucedo y Saltillo – Ramos Arizpe.

La entrada de flujo proviene del acuífero Región Manzanera - Zapaliname.

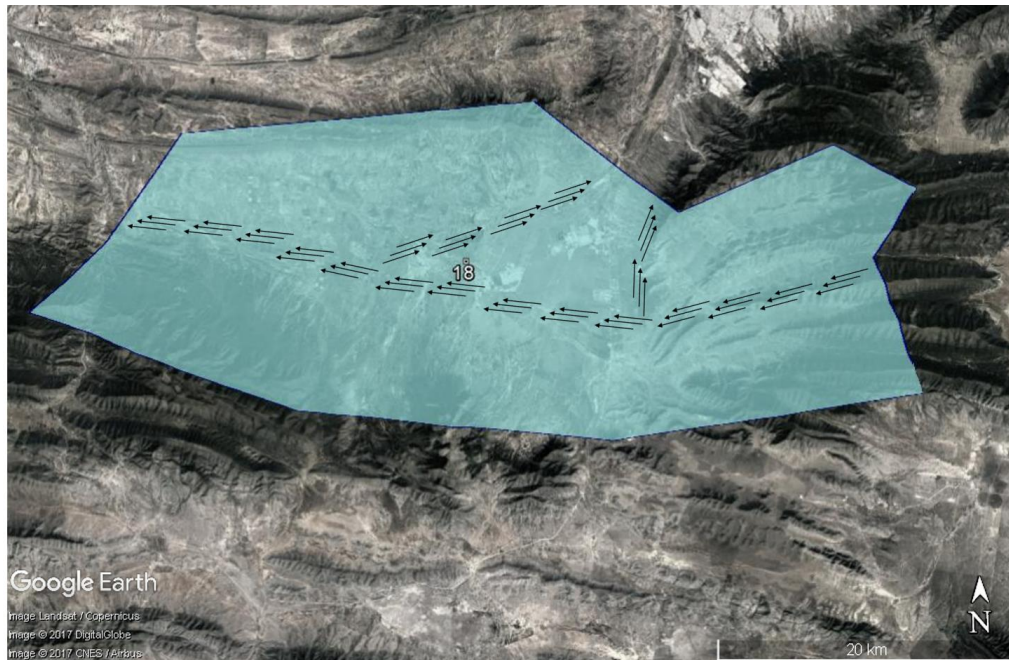


Figura 10.29. Dirección de flujo Cañón del Derramadero

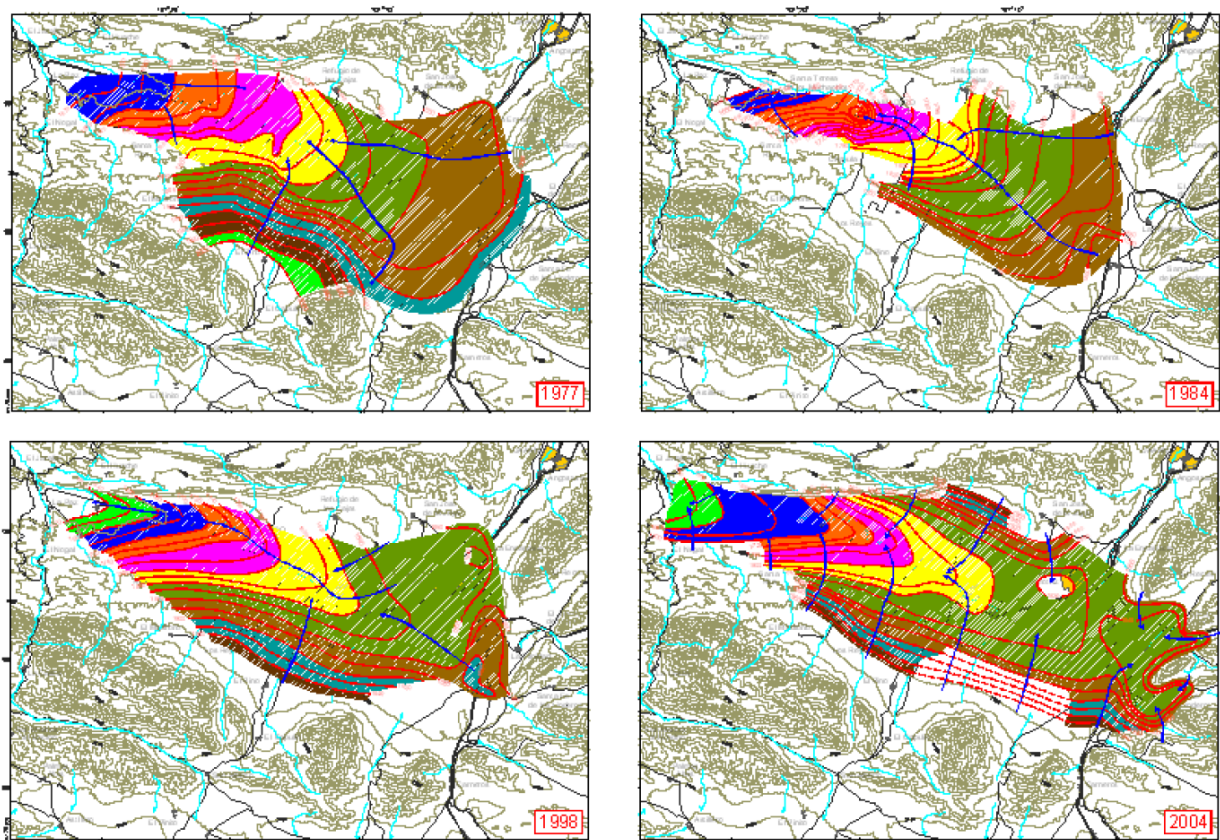


Figura 10.30. Elevación del nivel estático diferentes años, Cañón del Derramadero, msnm (CONAGUA, 2015)

8.2.19 Cañón del Huajuco

El acuífero Cañón del Huajuco, clave 1911, ubicado en el estado de Nuevo León, coordenadas 25°25'13.6" N y 100°6'4.2" O, muestra un flujo preferencial en dirección sureste - este hacia el acuífero Citrícola Norte.

La entrada de flujo proviene del acuífero Campo Buenos Aires.



Figura 10.31. Dirección de flujo Cañón de Huajuco

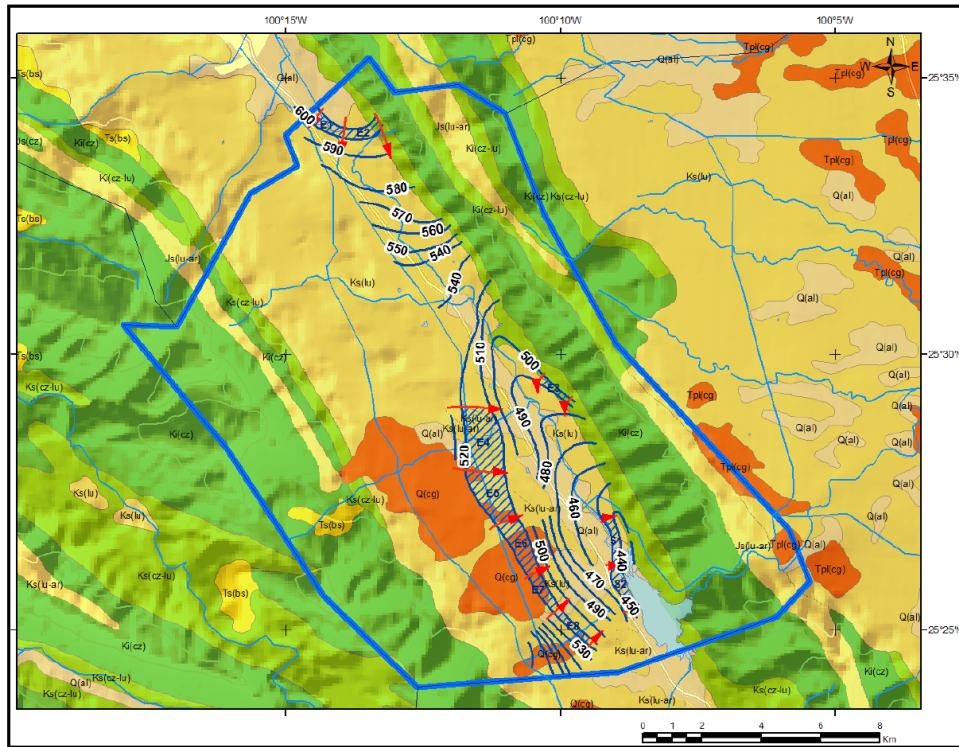


Figura 10.32. Elevación del nivel estático 2007, Cañón del Huajuco, msnm (CONAGUA, 2015)

8.2.20 Carichi – Nonoava

El acuífero Carichi – Nonoava, clave 0846, ubicado en el estado de Chihuahua, coordenadas 26°52'40.9" N y 106°55'15.7" O, muestra un flujo preferencial en dirección sureste - este hacia el acuífero San Felipe de Jesús.

La entrada de flujo proviene del acuífero Nacori Chico.



Figura 10.33. Dirección de flujo Carichi - Nonoava

8.2.21 Castaños

El acuífero Castaños, clave 0519, ubicado en el estado de Coahuila, coordenadas $26^{\circ}22'43.0''$ N y $101^{\circ}12'50.1''$ O, muestra dos tipos de flujo: en dirección noroeste rumbo al acuífero Monclova y sureste-noreste hacia el acuífero Lampazos – Villaldama y Campo Jaritas.

La entrada de flujos proviene de los acuíferos Cuatrociénegas, Valle de San Marcos y Paredón.



Figura 10.34. Dirección de flujo Castaños

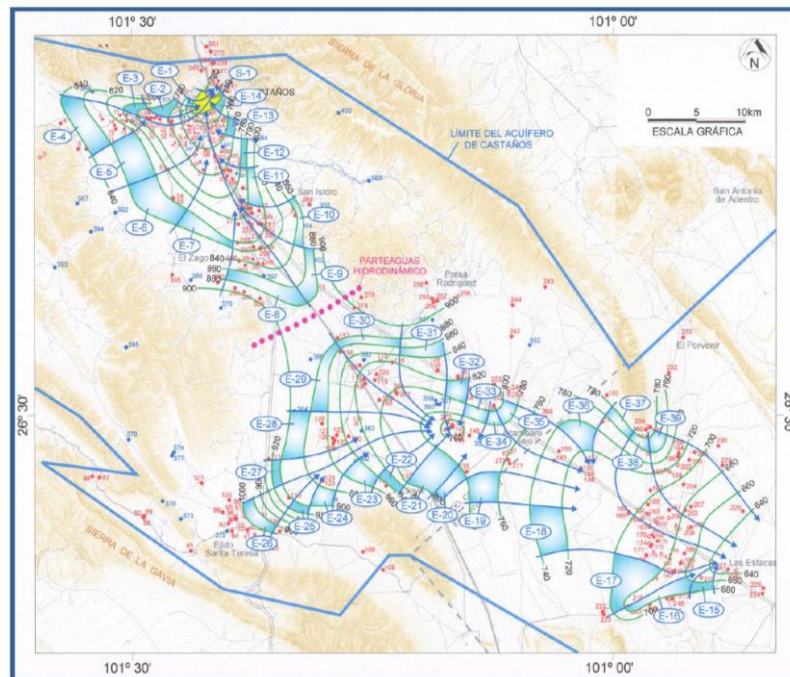


Figura 10.35. Elevación del nivel estático 2009, Castaños, msnm (CONAGUA, 2015)

8.2.22 Cerro Colorado – La Partida

El acuífero Cerro Colorado – La Partida, clave 0503, ubicado en el estado de Coahuila, coordenadas 29°35'39.6" N y 101°18'43.4" O, muestra un flujo preferencial en dirección sureste hacia el acuífero Presa La Amistad

La entrada de flujo proviene del acuífero Serranía del Burro.

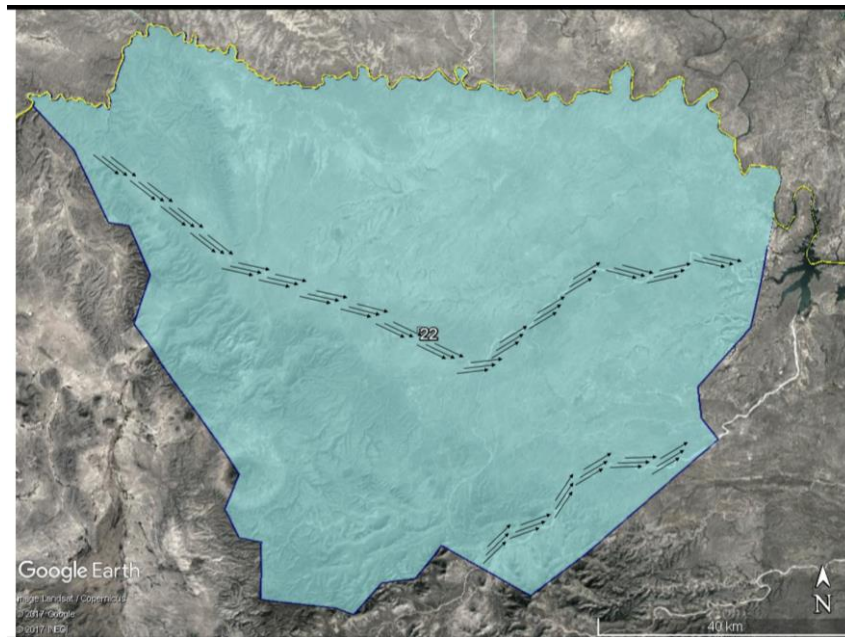


Figura 10.36. Dirección de flujo Cerro – Colorado La Partida

8.2.23 Chihuahua – Sacramento

El acuífero Chihuahua – Sacramento, clave 0830, ubicado en el estado de Chihuahua, coordenadas 28°56'46.0" N y 106°24'2.8" O, muestra un flujo preferencial en dirección noreste hacia el acuífero Tabalaopa – Aldama y noroeste hacia el acuífero El Sauz - Encinillas.

La entrada de flujo proviene de los acuíferos el Villalba y Alto Río San Pedro.



Figura 10.37. Dirección de flujo Chihuahua - Sacramento

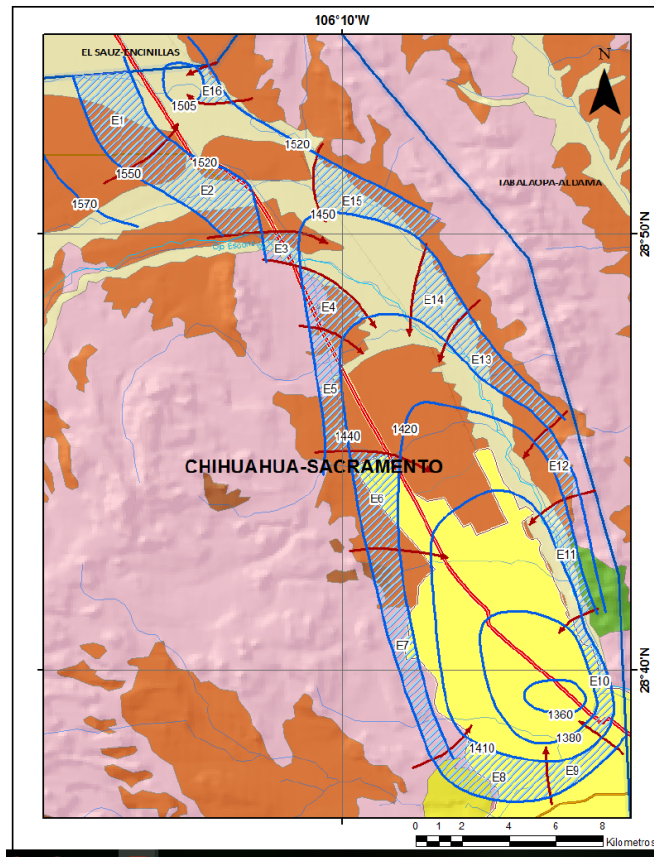


Figura 10.38. Elevación del nivel estático 2005, Chihuahua - Sacramento, msnm (CONAGUA, 2015)

8.2.24 China – General Bravo

El acuífero China – General Bravo, clave 1913, ubicado en el estado de Nuevo León, coordenadas 25°32'5.9" N y 99°20'7.7" O, muestra un flujo preferencial en dirección noroeste hacia el acuífero Bajo Río Bravo.

La entrada de flujo proviene de los acuíferos El Carmen – Salinas – Victoria y Citrícola Norte.



Figura 10.39. Dirección de flujo China – General Bravo

8.2.25 Citrícola Norte

El acuífero Citrícola Norte, clave 1912, ubicado en el estado de Nuevo León, coordenadas 25°3'32.8" N y 99°47'16.4" O, muestra un flujo preferencial en dirección noreste hacia el acuífero China – General Bravo.

La entrada de flujo proviene de los acuíferos Cañón del Huajuco y Navidad – Potosí – Raíces.

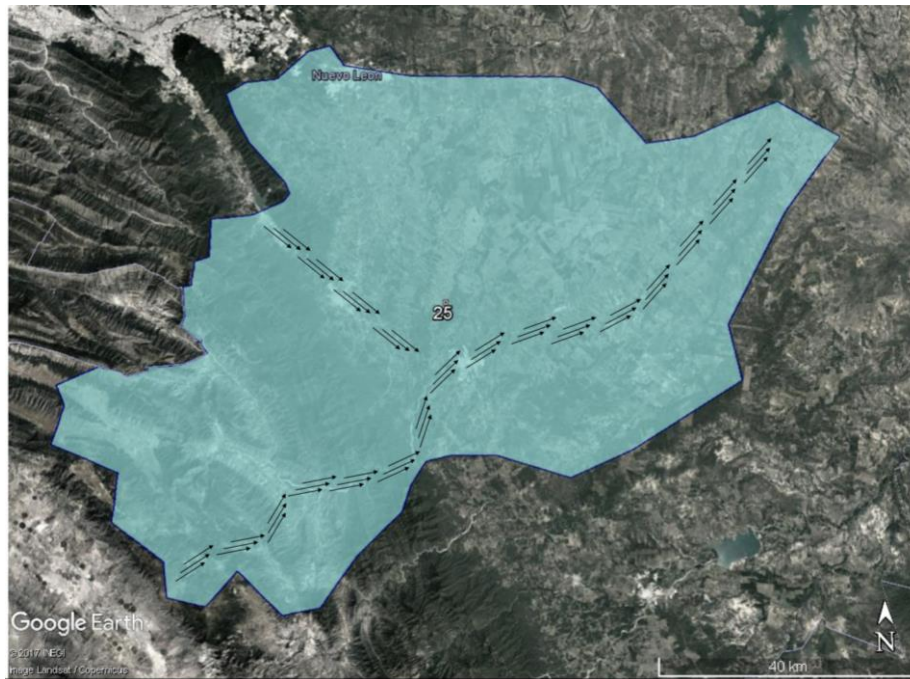


Figura 10.40. Dirección de flujo Citrícola Norte

8.2.26 Cuatrociénegas

El acuífero Cuatrociénegas, clave 0528, ubicado en el estado de Coahuila, coordenadas $26^{\circ}38'3.5''$ N y $101^{\circ}58'38.6''$ O, muestra un flujo preferencial en dirección este - noreste hacia el acuífero Monclova.

La entrada de flujo proviene de los acuíferos Laguna del Coyote y El Hundido.



Figura 10.41. Dirección de flujo Cuatrociénegas

8.2.27 El Carmen – Salinas – Victoria

El acuífero Carmen – Salinas – Victoria, clave 1924, ubicado en el estado de Nuevo León, coordenadas $26^{\circ}5'12.3''$ N y $100^{\circ}10'55.1''$ O, muestra un flujo preferencial en dirección sureste hacia los acuíferos Agualeguas – Ramones y China – General Bravo.

La entrada de flujo proviene de los acuíferos Castaños, Lampazos – Villaldama y Campo Mina

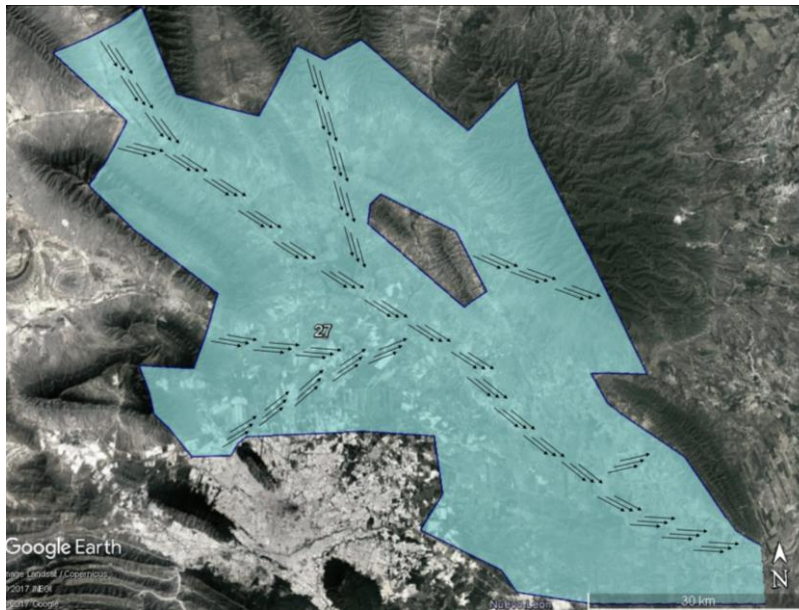


Figura 10.42. Dirección de flujo El Carmen – Salinas - Victoria

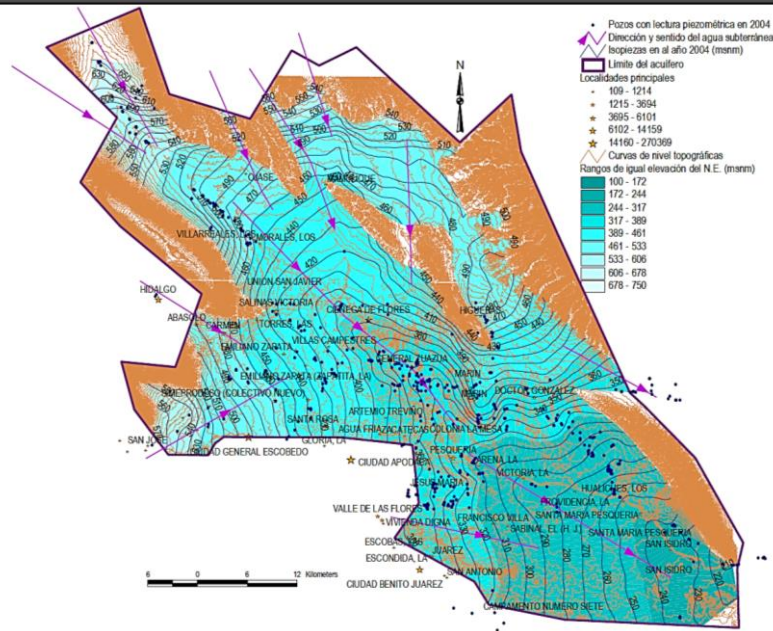


Figura 10.43. Elevación del nivel estático 2004, El Carmen – Salinas - Victoria, msnm (CONAGUA, 2015)

8.2.28 General Cepeda – Saucedá

El acuífero General Cepeda - Saucedá, clave 0505, ubicado en el estado de Coahuila, coordenadas 25°31'12.8" N y 102°39'12.8" O, muestra un flujo preferencial en dirección noreste - noroeste hacia los acuíferos Paredón y Saltillo – Ramos Arizpe

La entrada de flujo del lado Este proviene del acuífero Cañón del Derramadero



Figura 10.44. Dirección de flujo General Cepeda - Saucedá

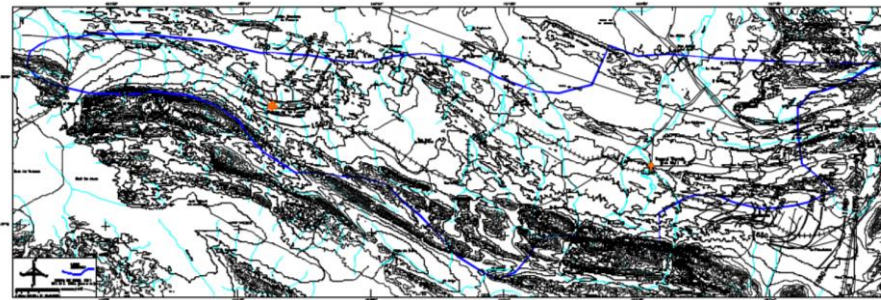


Figura 10.45. Elevación del nivel estático 1984, General Cepeda - Saucedá, msnm (CONAGUA, 2015)

8.2.29 Hidalgo

El acuífero Hidalgo, clave 0514, ubicado en el estado de Coahuila, coordenadas 28°0'36.0" N y 99°59'59.97" O, muestra un flujo preferencial en dirección sureste hacia el acuífero Lampazos – Anáhuac.

La entrada de flujo proviene del acuífero Allende – Piedras Negras.

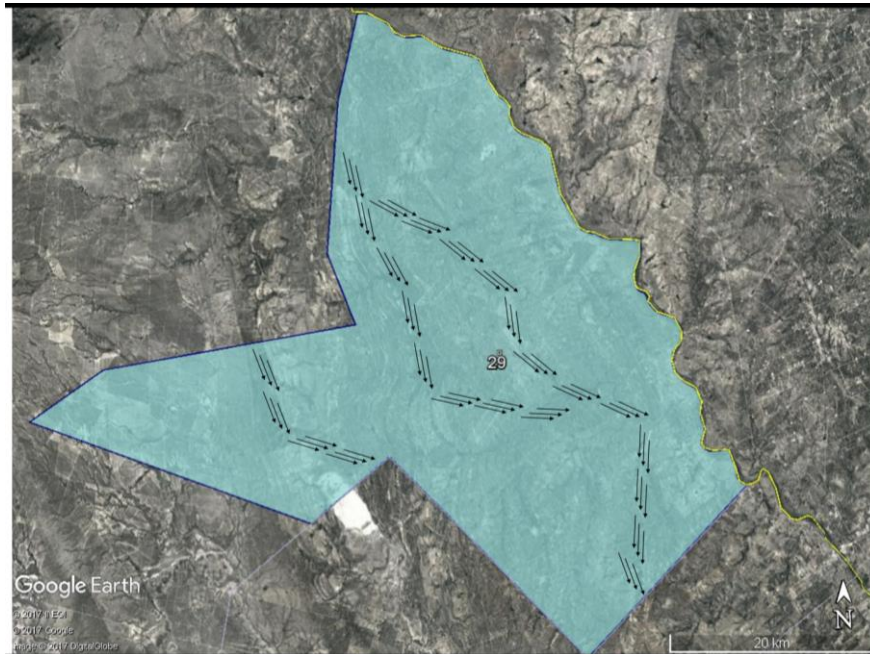


Figura 10.46. Dirección de flujo Hidalgo

8.2.30 Jiménez – Camargo

El acuífero Jiménez – Camargo, clave 0832, ubicado en el estado de Chihuahua, coordenadas $26^{\circ}41'22.5''$ N y $105^{\circ}43'39.6''$ O, muestra un flujo preferencial en dirección noreste - noroeste hacia el acuífero Meoqui – Delicias.

La entrada de flujo proviene de los acuíferos Cabrera – Ocampo, Torreón de Cañas y Parral Valle del Verano.

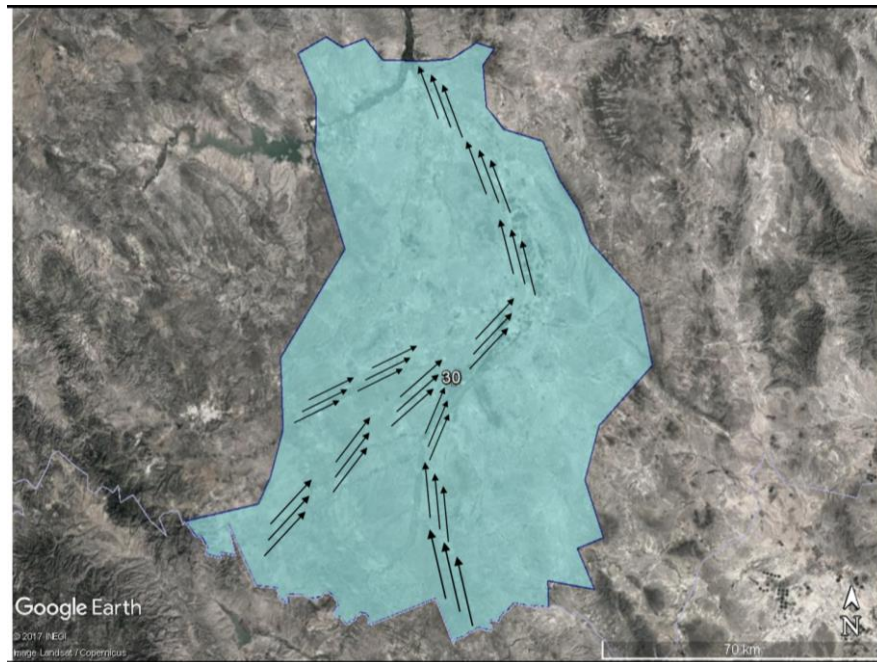


Figura 10.47. Dirección de flujo Jiménez - Camargo

8.2.31 Lampazos – Anáhuac

El acuífero Lampazos – Anáhuac, clave 1903, ubicado en el estado de Nuevo León, coordenadas 26°53'28.1" N y 99°42'19.2" O, muestra un flujo preferencial en dirección sureste hacia el acuífero Bajo Río Bravo.

La entrada de flujo proviene de los acuíferos Monclova y Región Carbonífera.

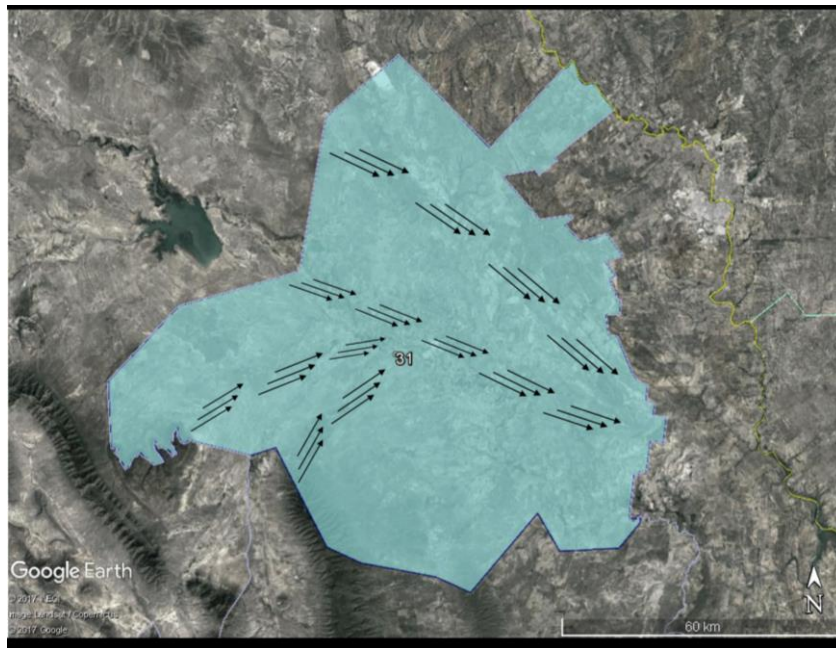


Figura 10.48. Dirección de flujo Lampazos - Anáhuac

8.2.32 Lampazos – Villaldama

El acuífero Lampazos - Villaldama, clave 1901, ubicado en el estado de Nuevo León, coordenadas 26°34'9.4" N y 100°34'46.1" O, muestra un flujo preferencial en dirección sureste - noreste hacia el acuífero Sabinas – Paras.

La entrada de flujo proviene del acuífero Castaños.



Figura 10.49. Dirección de flujo Lampazos - Villaldama

8.2.33 Manuel Benavides

El acuífero Manuel Benavides, clave 0839, ubicado en el estado de Chihuahua, coordenadas 28°21'47.1" N y 103°50'12.1" O, muestra un flujo preferencial en dirección sureste hacia el acuífero Santa Fe del Pino.

La entrada de flujo proviene del acuífero Álamo – Chapo.

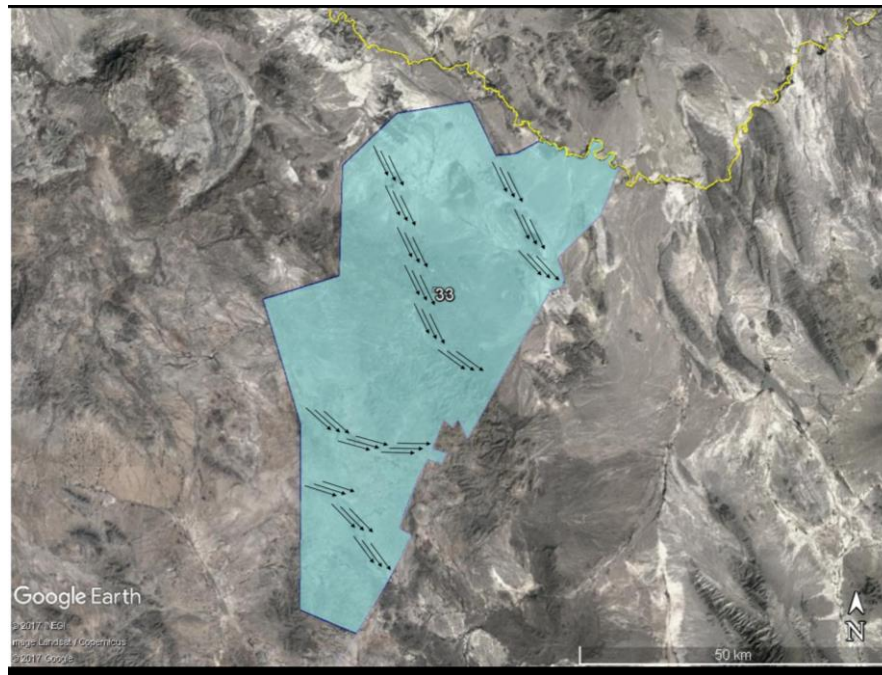


Figura 10.50. Dirección de flujo Manuel Benavides

8.2.34 Meoqui – Delicias

El acuífero Meoqui - Delicias, clave 0831, ubicado en el estado de Chihuahua, coordenadas 28°31'43.7" N y 105°28'25.5" O, muestra un flujo preferencial en dirección norte - noroeste hacia el acuífero Potrero del Llano

La entrada de flujo proviene de los acuíferos Villalba/Alto Río San Pedro, Aldama – San Diego, Valle de Zaragoza y Jiménez - Camargo.



Figura 10.51. Dirección de flujo Meoqui - Delicias

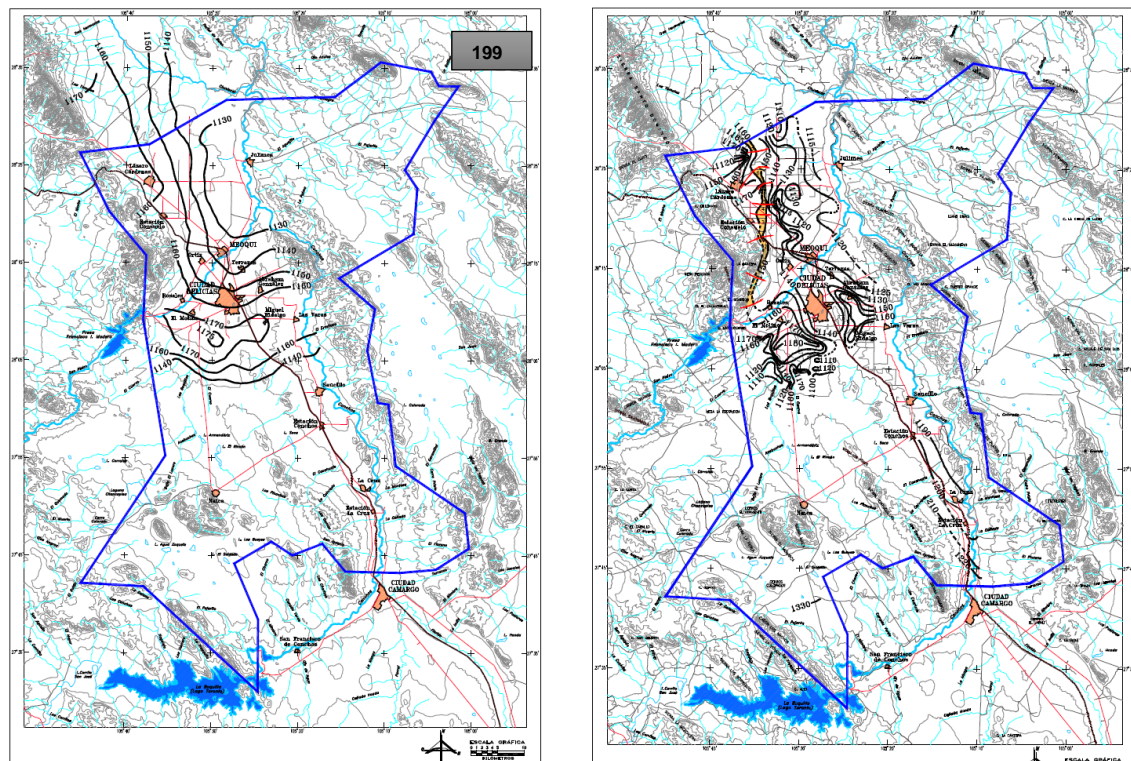


Figura 10.52. Elevación del nivel estático 1996 y 2005, Meoqui - Delicias, msnm (CONAGUA, 2015)

8.2.35 Monclova

El acuífero Monclova, clave 0507, ubicado en el estado de Coahuila, coordenadas $28^{\circ}0'1.1''$ N y $102^{\circ}29'14.2''$ O, muestra un flujo preferencial en dirección sureste - noreste hacia el acuífero Región Carbonífera.

La entrada de flujo proviene de los acuíferos Cuatrociénegas y Santa Fe del Pino.

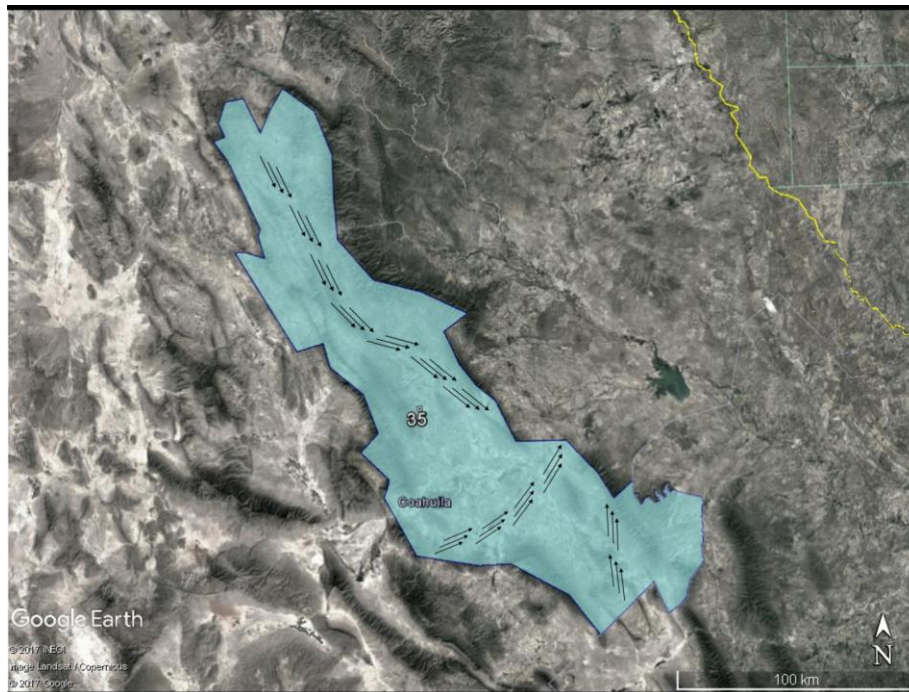


Figura 10.53. Dirección de flujo Monclova

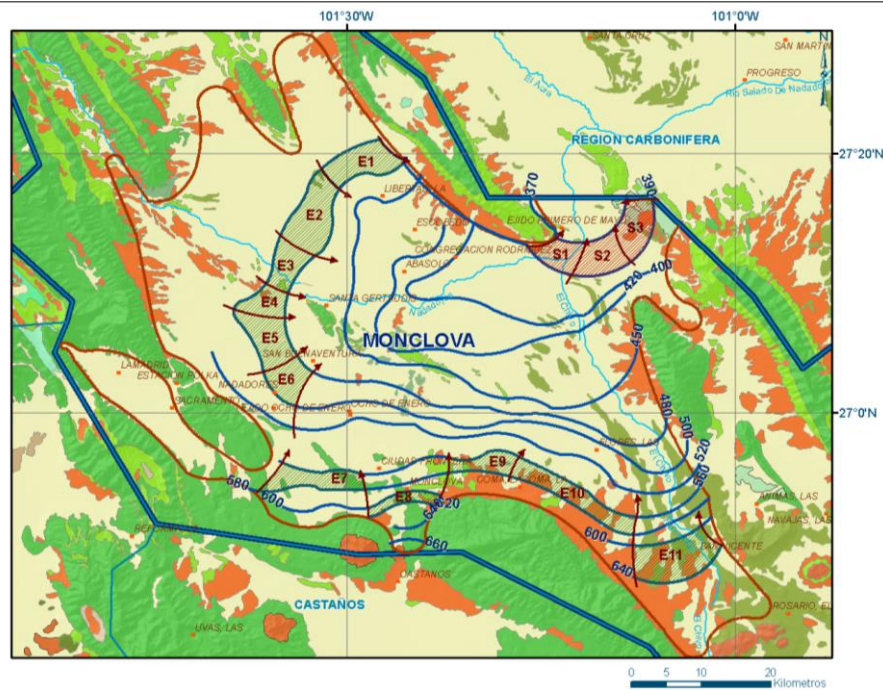


Figura 10.54. Elevación del nivel estático 2007, Monclova, msnm (CONAGUA, 2015)

8.2.36 Palestina

El acuífero Palestina, clave 0513, ubicado en el estado de Coahuila, coordenadas $28^{\circ}56'35.3''$ N y $100^{\circ}43'0.4''$ O, muestra un flujo preferencial en dirección sureste hacia el acuífero Allende – Piedras Negras.

La entrada de flujo proviene de los acuíferos Presa La Amistad y Serranía del Burro.

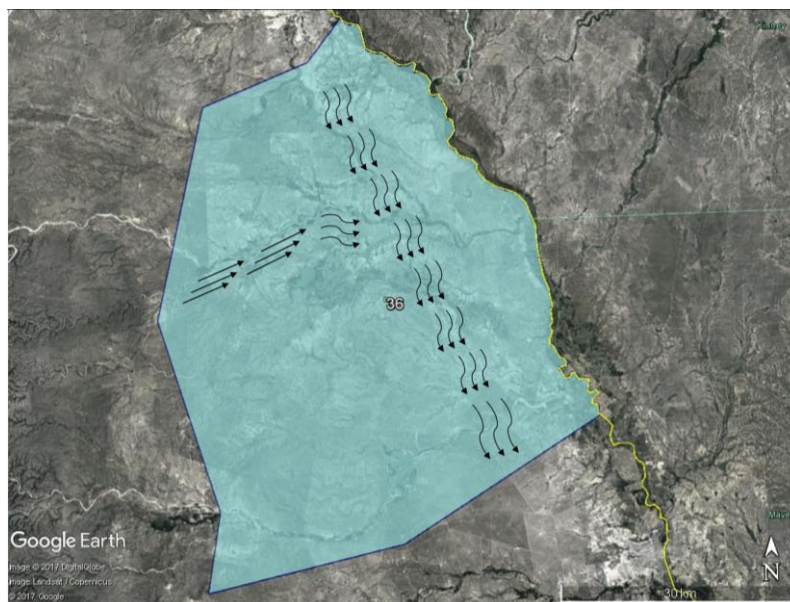


Figura 10.55. Dirección de flujo Palestina

8.2.37 Paredón

El acuífero Paredón, clave 0508, ubicado en el estado de Coahuila, coordenadas $26^{\circ}18'45.0''$ N y $101^{\circ}16'48.5''$ O, muestra un flujo preferencial en dirección noreste hacia el acuífero Castaños.

La entrada de flujo proviene de los acuíferos General Cepeda, Valle de San Marcos y La Paila.

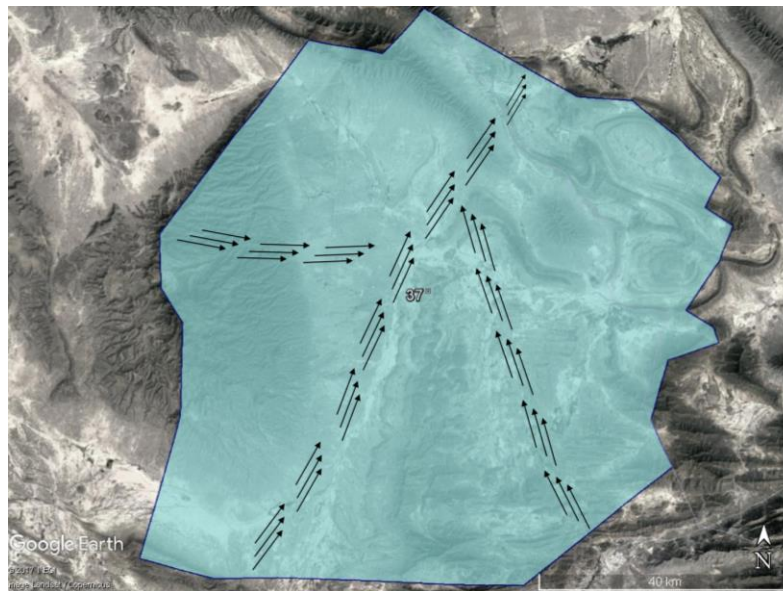


Figura 10.56. Dirección de flujo Paredón

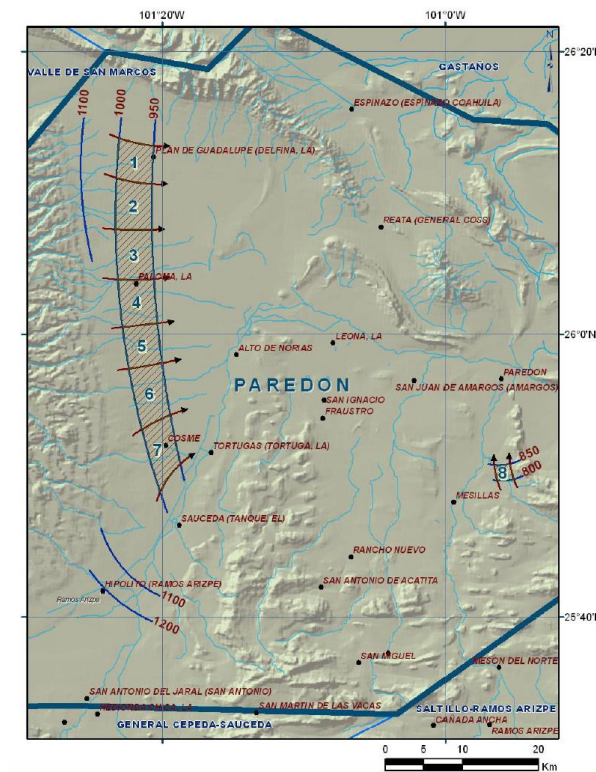


Figura 10.57. Elevación del nivel estático 2006, Paredón, msnm (CONAGUA, 2015)

8.2.38 Parral – Valle del Verano

El acuífero Parral – Valle del Verano, clave 0834, ubicado en el estado de Chihuahua, coordenadas 26°41'22.5" N y 105°43'39.6" O, muestra un flujo preferencial en dirección sureste-noreste hacia el acuífero Jiménez - Camargo.

La entrada de flujo proviene del acuífero San Felipe de Jesús.



Figura 10.58. Dirección de flujo Parral – Valle del Verano

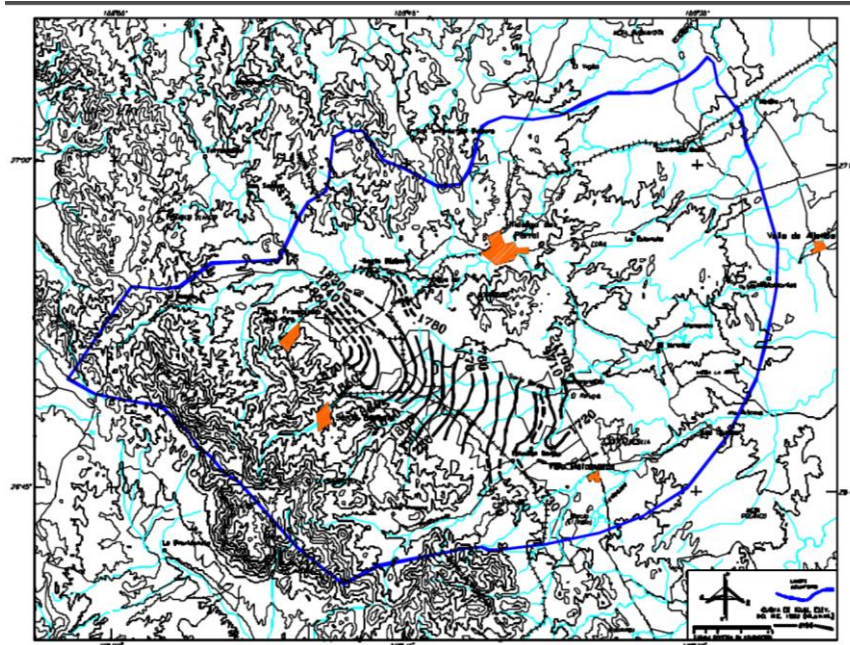


Figura 10.59. Elevación del nivel estático 1982, Parral – Valle del Verano, msnm (CONAGUA, 2015)

8.2.39 Potrero del Llano

El acuífero Potrero del Llano, clave 0841, ubicado en el estado de Chihuahua, coordenadas 29°9'45.4" N y 105°24'30.3" O, muestra un flujo preferencial en dirección noreste hacia el acuífero Bajo Río Conchos.

La entrada de flujo proviene de los acuíferos Meoqui – Delicias y Aldama – San Diego.



Figura 10.60. Dirección de flujo Potrero del Llano

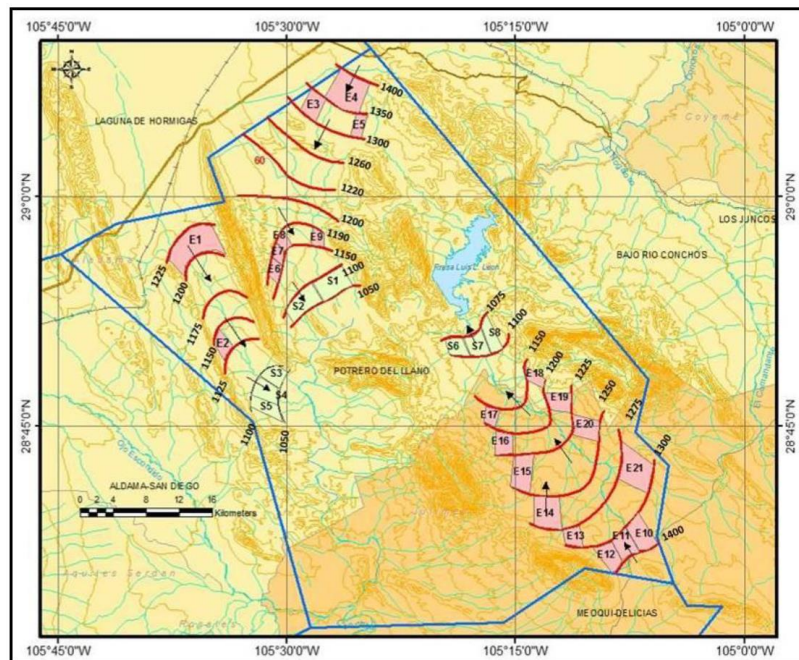


Figura 10.61. Elevación del nivel estático 2006, Potrero del Llano, msnm (CONAGUA, 2015)

8.2.40 Presa La Amistad

El acuífero Presa La Amistad, clave 0522, ubicado en el estado de Coahuila, coordenadas 29°19'1.2" N y 100°54'33.4" O, muestra un flujo preferencial en dirección sureste hacia el acuífero Jiménez - Camargo.

La entrada de flujo proviene del acuífero Cerro Colorado – La Partida.

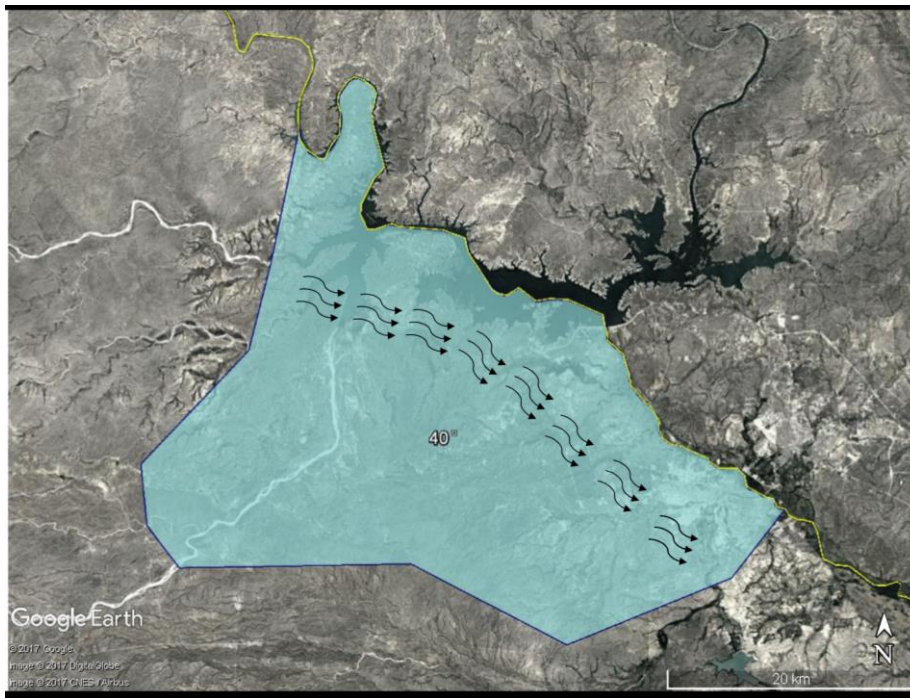


Figura 10.62. Dirección de flujo Presa La Amistad

8.2.41 Providencia

El acuífero Providencia, clave 1007, ubicado en el estado de Durango, coordenadas $26^{\circ}48'32.0''$ N y $106^{\circ}0'0.0''$ O, muestra un flujo preferencial en dirección este - sureste hacia el acuífero Cabrera – Ocampo.



Figura 10.63. Dirección de flujo Providencia

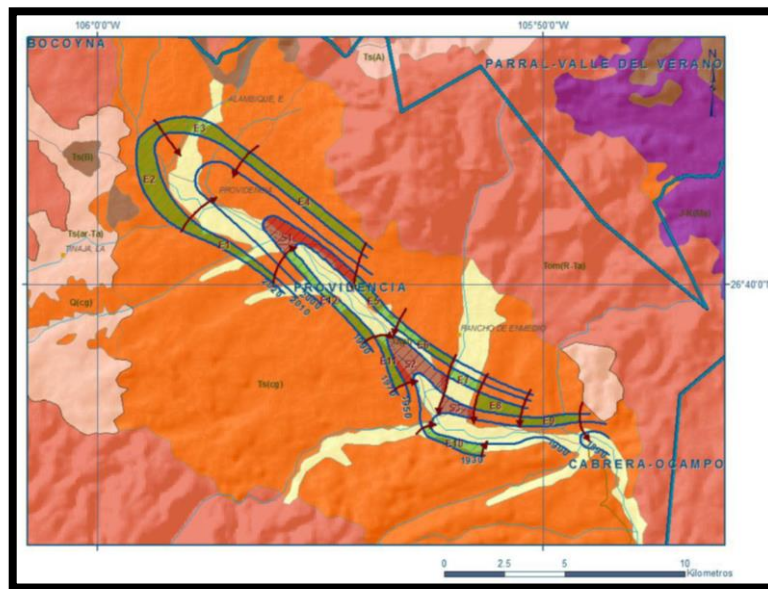


Figura 10.64. Elevación del nivel estático 2010, Providencia, msnm (CONAGUA, 2015)

8.2.42 Región Carbonífera

El acuífero Región Carbonífera, clave 0512, ubicado en el estado de Coahuila, coordenadas $28^{\circ}2'36.7''$ N y $102^{\circ}3'9.2''$ O, muestra un flujo preferencial en dirección sureste hacia el acuífero Lampazos – Anáhuac.

La entrada de flujo proviene del acuífero Monclova y Serranía del Burro.

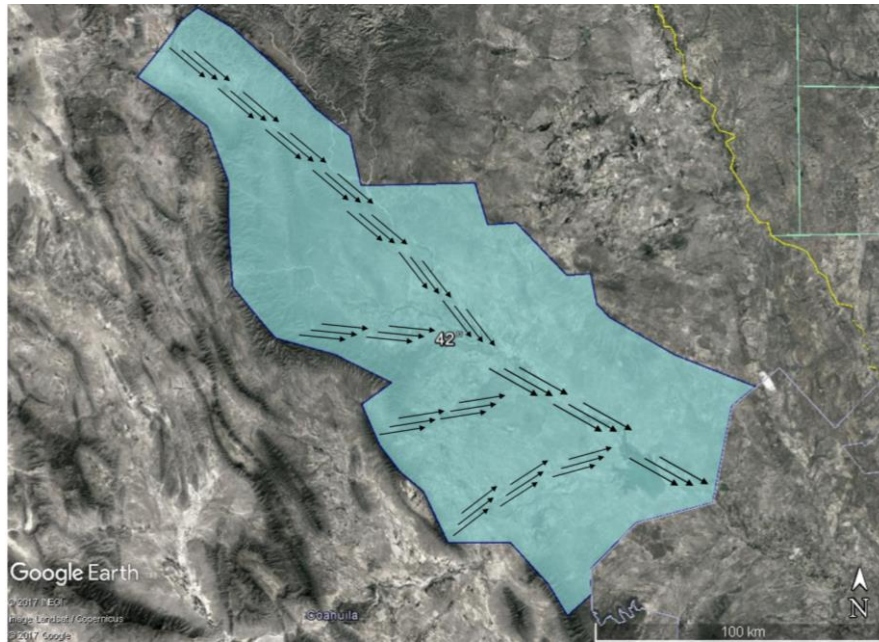


Figura 10.65. Dirección de flujo Región Carbonífera

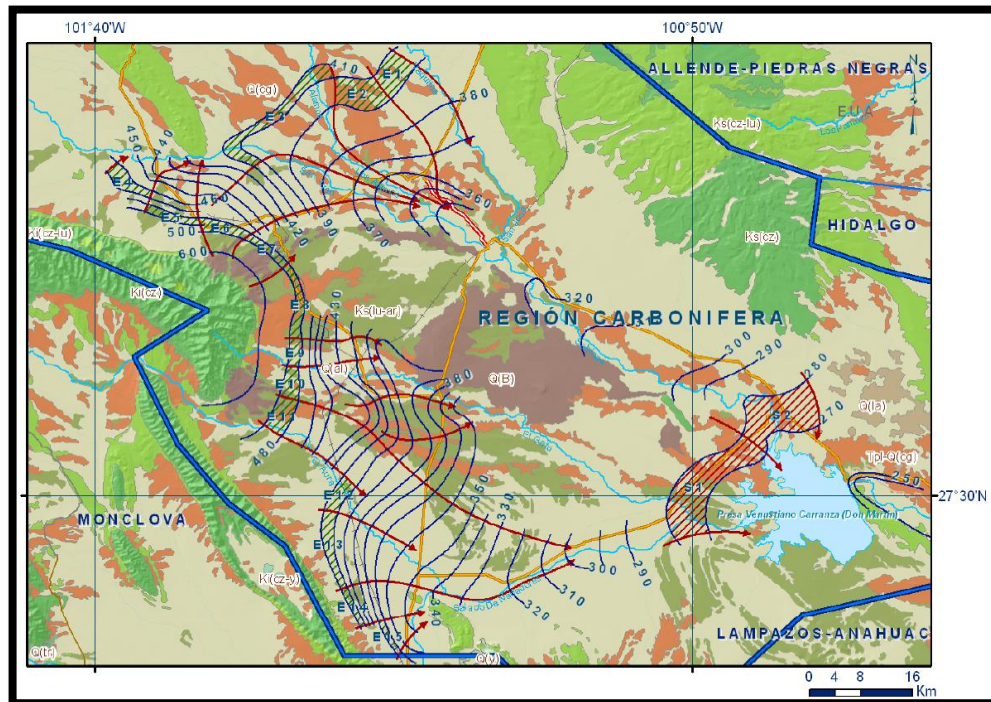


Figura 10.66. Elevación del nivel estático 2011, Región Carbonífera, msnm (CONAGUA, 2015)

8.2.43 Región Manzanera – Zapaliname

El acuífero Región Manzanera - Zapaliname, clave 0511, ubicado en el estado de Coahuila, coordenadas 25°18'23.5" N y 100°15'21.0" O, muestra un flujo preferencial en dirección noreste hacia el acuífero Campo Buenos Aires y suroeste en dirección al acuífero Cañón del Derramadero.

La entrada de flujo proviene de los acuíferos Saltillo Sur y Navidad – Potosí – Raíces.

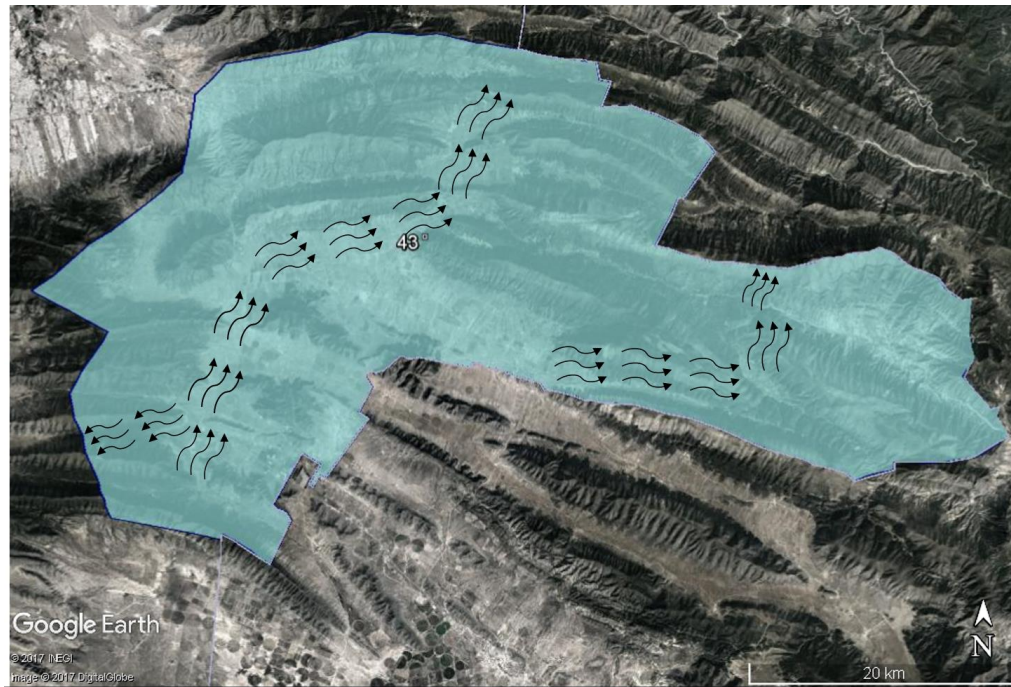


Figura 10.67. Dirección de flujo Región Manzanera – Zapaliname

8.2.44 Sabinas – Paras

El acuífero Sabinas – Paras, clave 1902, ubicado en el estado de Nuevo León, coordenadas 26°25'55.0" N y 99°26'14.4" O, muestra un flujo preferencial en dirección este hacia el acuífero Bajo Río Bravo.

La entrada de flujo proviene del acuífero Lampazos – Villaldama.

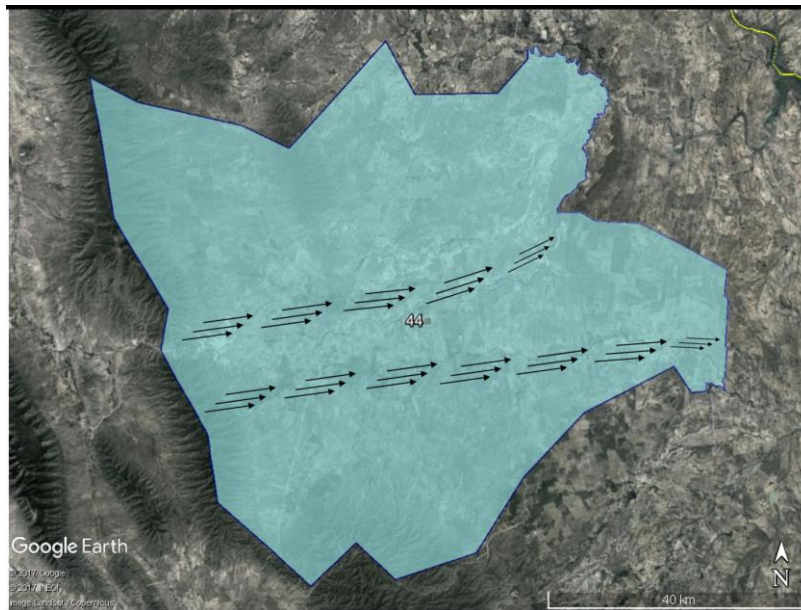


Figura 10.68. Dirección de flujo Sabinas - Paras

8.2.45 Saltillo – Ramos Arizpe

El acuífero Saltillo – Ramos Arizpe, clave 0510, ubicado en el estado de Coahuila, coordenadas 25°43'17.7" N y 100°49'7.8" O, muestra un flujo preferencial en dirección noreste hacia el acuífero Campo Durazno.

La entrada de flujo proviene principalmente del acuífero Cañón del Derramadero.

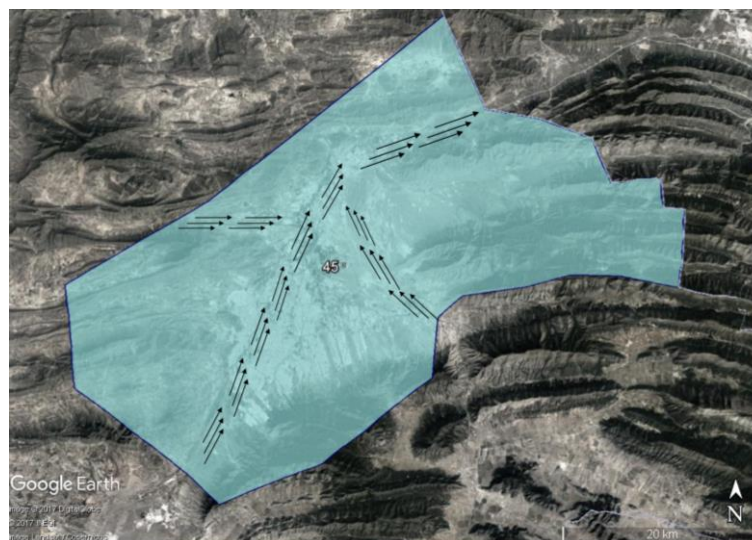


Figura 10.69. Dirección de flujo Saltillo – Ramos Arizpe

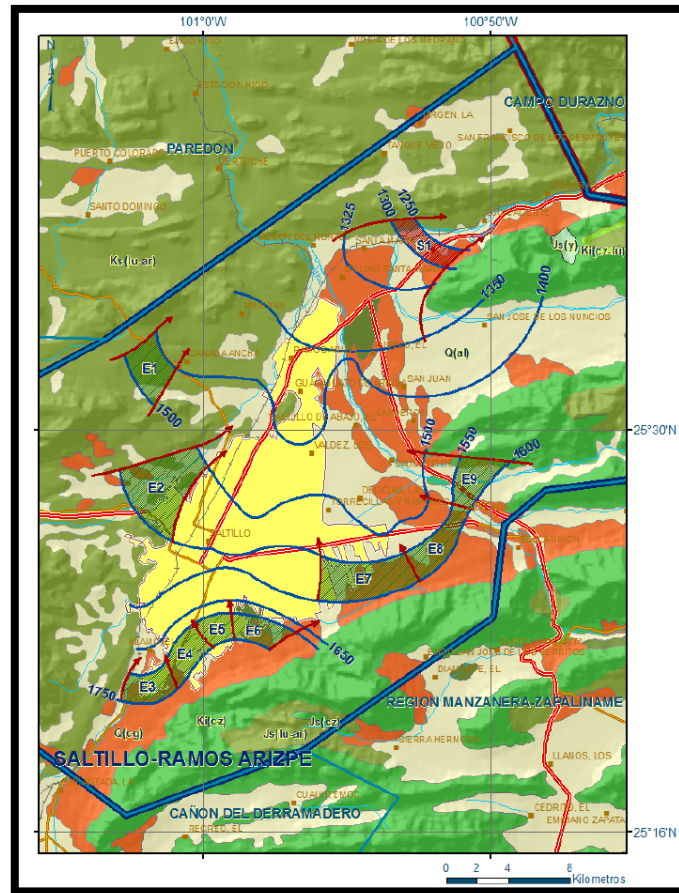


Figura 10.70. Elevación del nivel estático 2007, Saltillo – Ramos Arizpe, msnm (CONAGUA, 2015)

8.2.46 San Felipe de Jesús

El acuífero San Felipe de Jesús, clave 0845, ubicado en el estado de Coahuila, coordenadas 27°32'12.2" N y 106°8'46" O, muestra un flujo preferencial en dirección noreste hacia los acuíferos Alto Río San Pedro y Valle de Zaragoza.

La entrada de flujo proviene de los acuíferos Carichi – Nonoava y Bocoyna.



Figura 10.71. Dirección de flujo San Felipe de Jesús

8.2.47 Santa Fe del Pino

El acuífero Santa Fe del Pino, clave 0515, ubicado en el estado de Coahuila, coordenadas $28^{\circ}36'44.5''$ N y $102^{\circ}16'36.1''$ O, muestra un flujo preferencial en dirección sureste hacia el acuífero Serranía del Burro.

La entrada de flujo proviene del acuífero Manuel Benavides.



Figura 10.72. Dirección de flujo Santa Fe del Pino

8.2.48 Serranía del Burro

El acuífero Serranía del Burro, clave 0526, ubicado en el estado de Coahuila, coordenadas 29°46'5.1" N y 102°30'43.3" O, muestra un flujo preferencial en dirección sureste hacia los acuíferos Palestina y Allende – Piedras Negras.

La entrada de flujo proviene del acuífero Santa Fe del Pino.

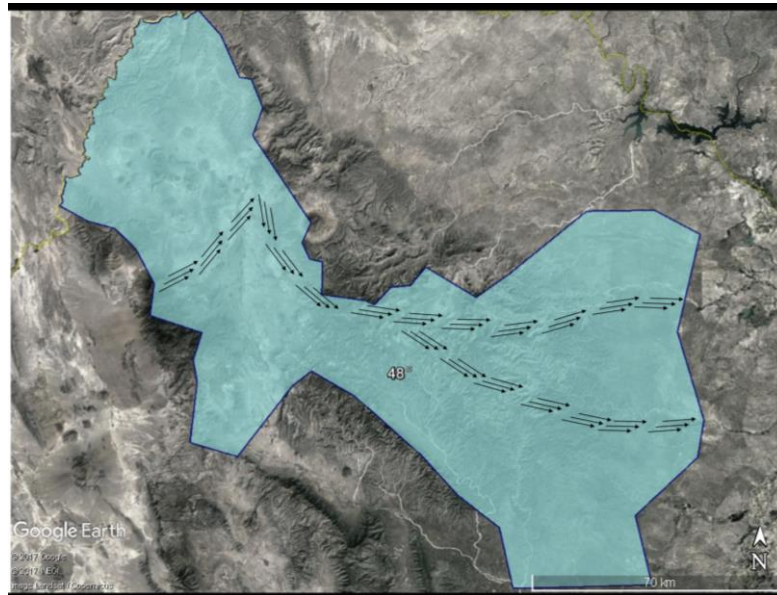


Figura 10.73. Dirección de flujo Serranía del Burro

8.2.49 Tabalaopa – Aldama

El acuífero Tabalaopa – Aldama, clave 0845, ubicado en el estado de Chihuahua, coordenadas 27°32'12.2" N y 106°8'46" O, muestra un flujo preferencial en dirección sureste - noreste hacia el acuífero Aldama – San Diego.

La entrada de flujo proviene de los acuíferos Chihuahua – Sacramento y El Sauz – Encinillas.



Figura 10.74. Dirección de flujo Tabaloapa - Aldama

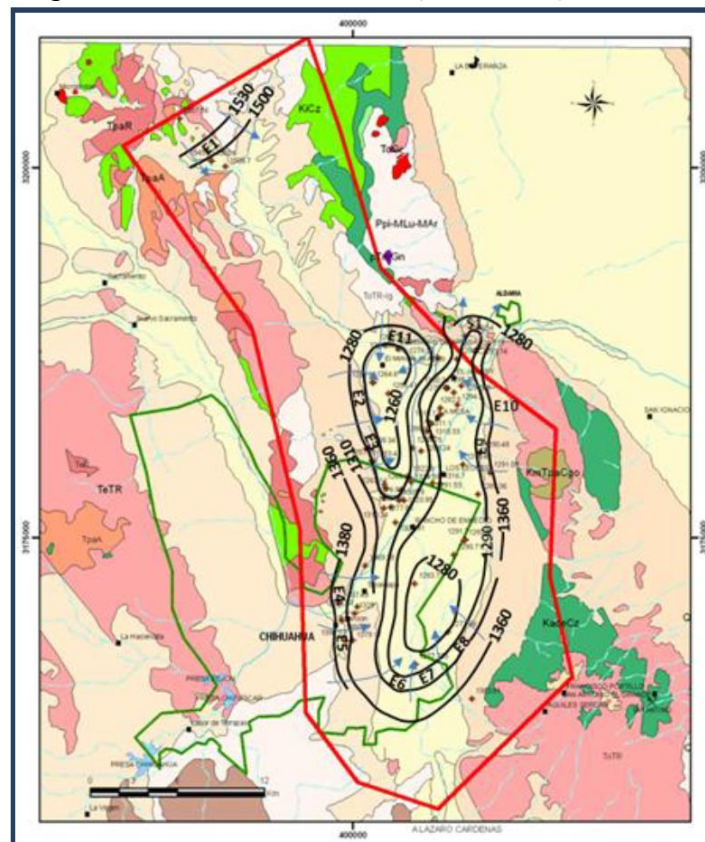


Figura 10.75. Elevación del nivel estático 2007, Tabaloapa - Aldama, msnm (CONAGUA, 2015)

8.2.50 Torreón de Cañas

El acuífero Torreón de Cañas, clave 1014, ubicado en el estado de Durango, coordenadas 26°25'8.8" N y 105°3'22.2" O, muestra un flujo preferencial en dirección noreste hacia el acuífero Jiménez – Camargo.



Figura 10.76. Dirección de flujo Torreón de Cañas

8.2.51 Valle de Juárez

El acuífero Valle de Juárez, clave 0833, ubicado en el estado de Chihuahua, coordenadas 31°5'54.7" N y 105°37'39.9" O, muestra un flujo preferencial en dirección sureste - noreste hacia el acuífero Valle del Peso y Hueco Bolsón.



Figura 10.77. Dirección de flujo Valle de Juárez

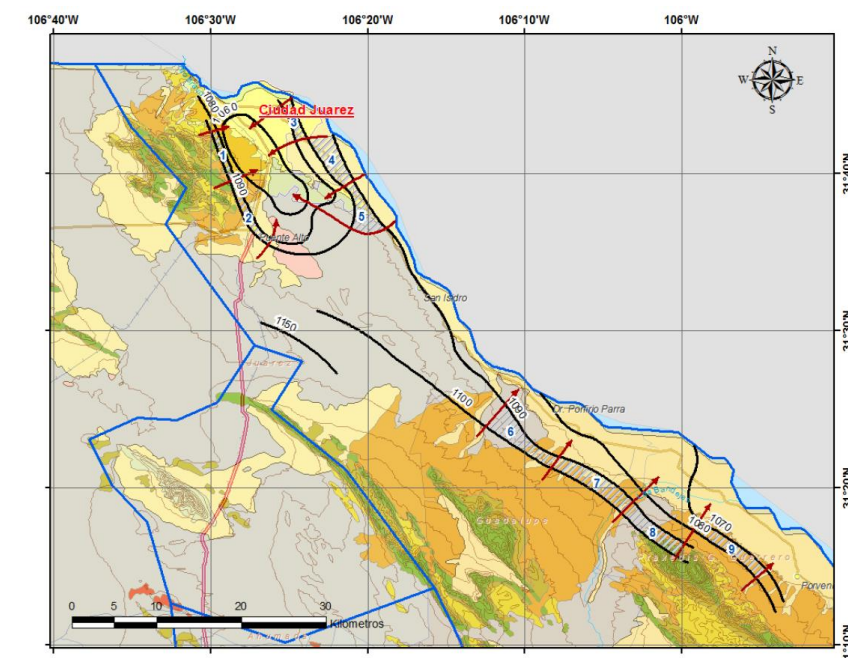


Figura 10.78. Elevación del nivel estático 2008, Valle de Juárez, msnm (CONAGUA, 2015)

8.2.52 Valle de Zaragoza

El acuífero Valle de Zaragoza, clave 0844, ubicado en el estado de Chihuahua, coordenadas $27^{\circ}43'15.2''$ N y $105^{\circ}55'18.2''$ O, muestra un flujo preferencial en dirección noreste hacia el acuífero Meoqui – Delicias.

La entrada de flujo proviene del acuífero San Felipe de Jesús.



Figura 10.79. Dirección de flujo Valle de Zaragoza

8.2.53 Valle del Peso

El acuífero Valle del Peso, clave 0861, ubicado en el estado de Chihuahua, coordenadas $29^{\circ}36'31.2''$ N y $104^{\circ}27'29.7''$ O, muestra un flujo preferencial en dirección sureste hacia el acuífero Álamo Chapo

La entrada de flujo proviene del acuífero Valle de Juárez.



Figura 10.80. Dirección de flujo Valle del Peso

8.2.54 Villalba

El acuífero Villalba, clave 0840, ubicado en el estado de Chihuahua, coordenadas $28^{\circ}31'38.7''$ N y $105^{\circ}48'15.5''$ O, muestra un flujo preferencial en dirección sureste-este hacia el acuífero Meoqui – Delicias.

La entrada de flujo principal proviene del acuífero Alto Río San Pedro.

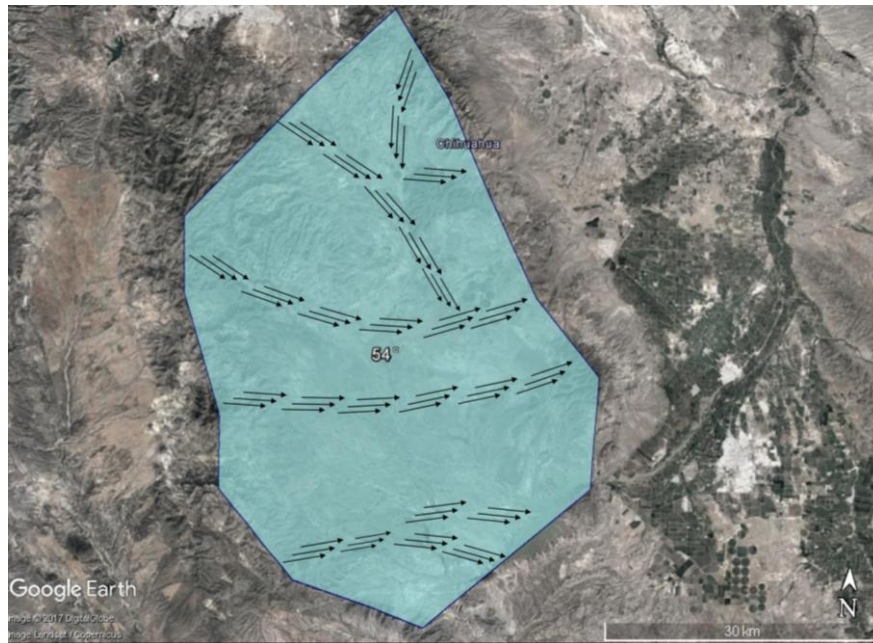


Figura 10.81. Dirección de flujo Villalba

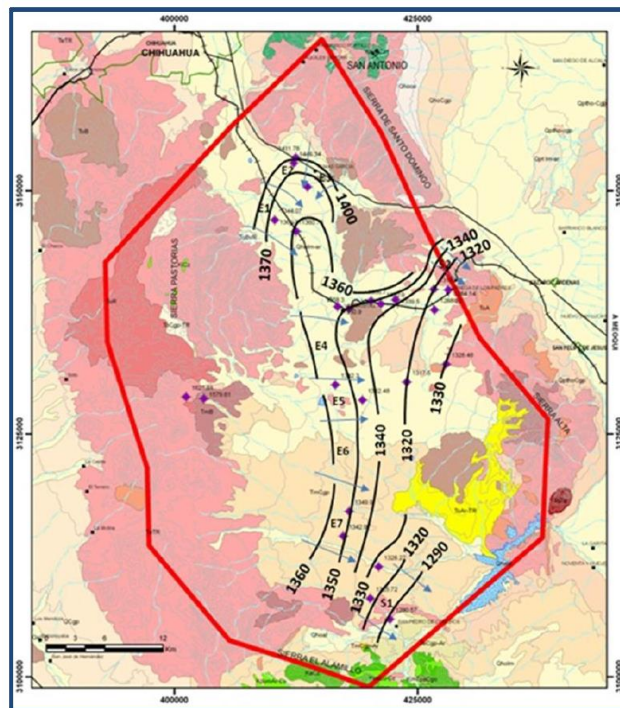


Figura 10.82. Elevación del nivel estático 2007, Villalba, msnm (CONAGUA, 2015)

11. IDENTIFICACIÓN DE POSIBLES ZONAS DE RESERVA DE AGUA

Mediante el análisis de los balances hidrogeológicos y la demanda actual y futura de la zona se vió la necesidad de proponer algunas zonas de reserva de agua.

A continuación se presentan 14 acuíferos con sus posibles zonas de reserva. Estas zonas de reserva se deberán consensuar en el ámbito de los Comités Técnicos del Agua Subterránea (COTAS) a fin de evitar conflictos posteriores a su designación.

De manera general, las zonas de reserva consisten de regiones poco explotadas dentro del acuífero en cuestión, lo que facilitará su designación. En las figuras 9.1 a 9.14 se puede apreciar los polígonos en color amarillo que indican las zonas propuestas para reserva de agua.

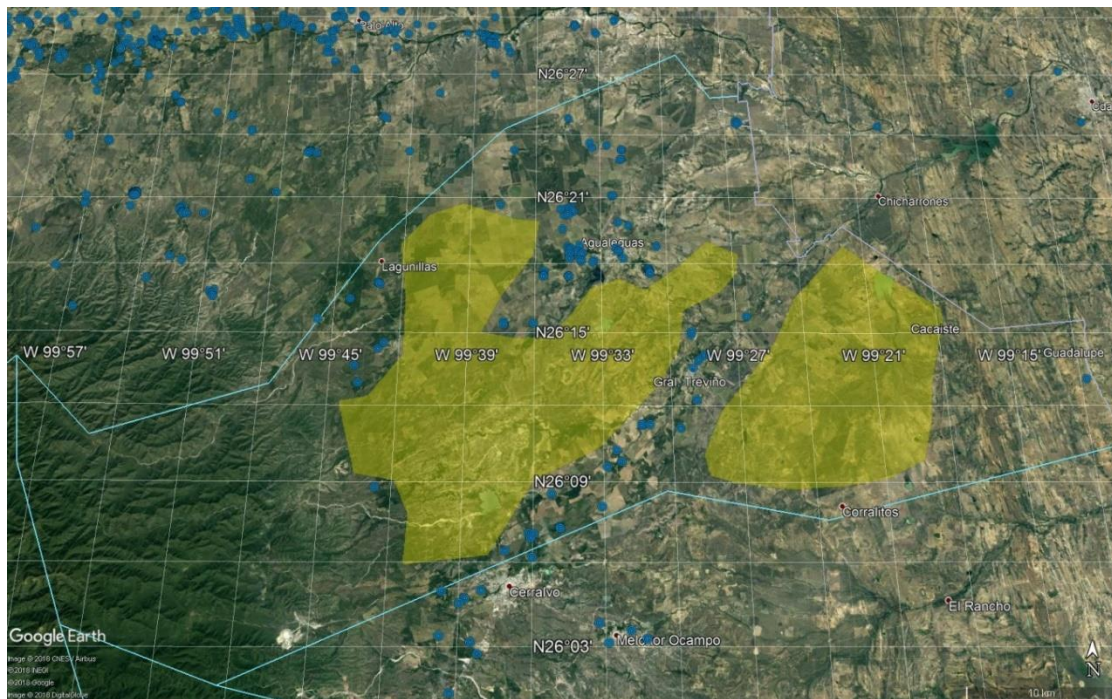


Figura 11.1. Zonas de reserva Acuífero Agualeguas- Los Ramones

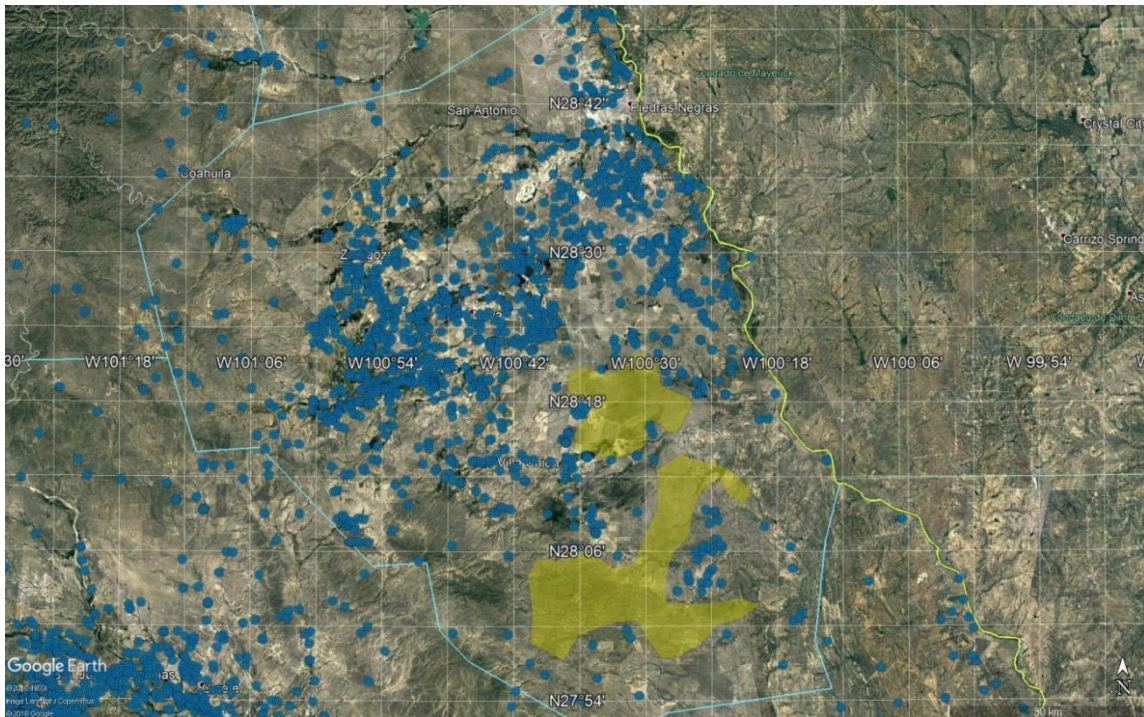


Figura 11.2. Zonas de reserva Acuífero Allende- Piedras Negras

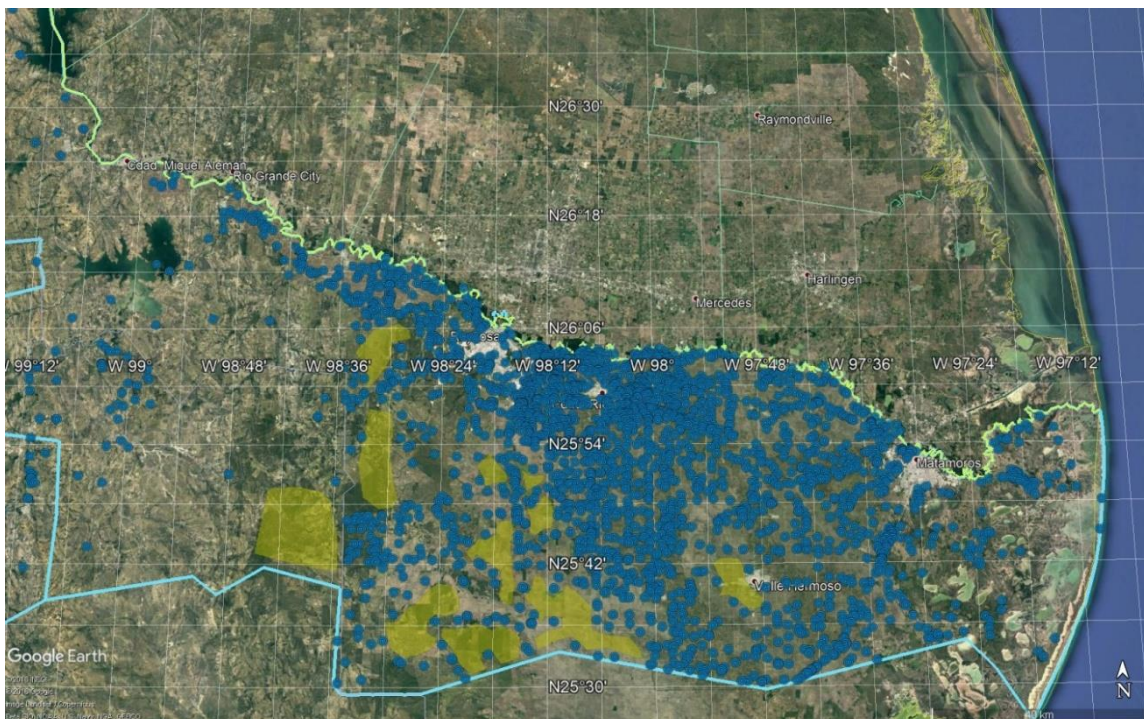


Figura 11.3. Zonas de reserva Acuífero Bajo Río Bravo

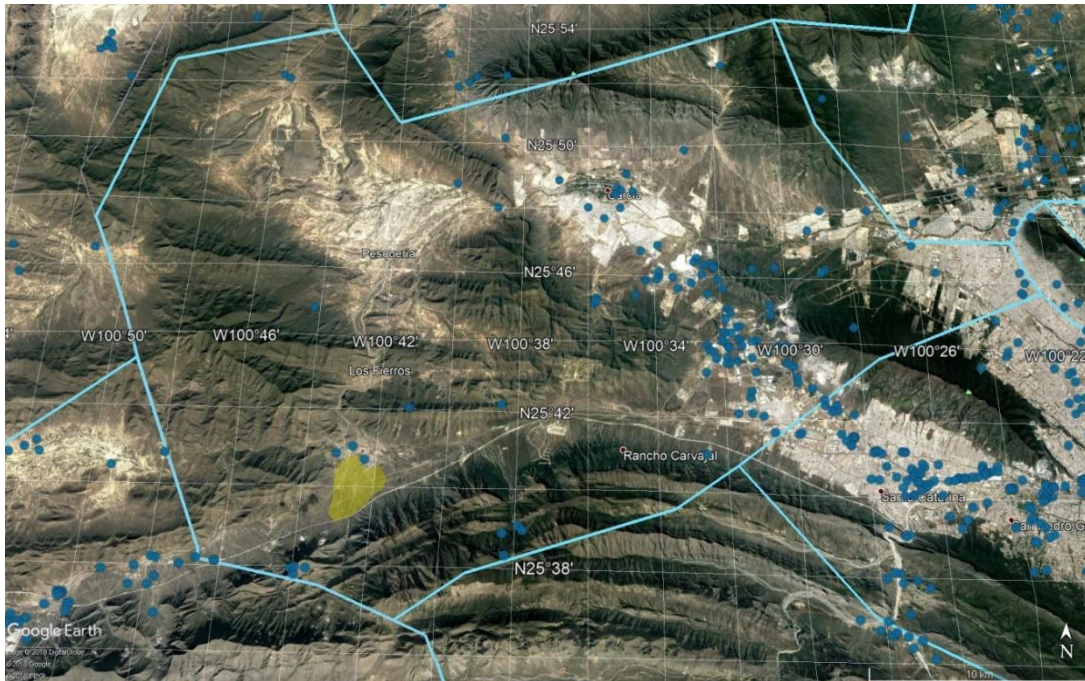


Figura 11.4. Zonas de reserva Acuífero Campo Durazno

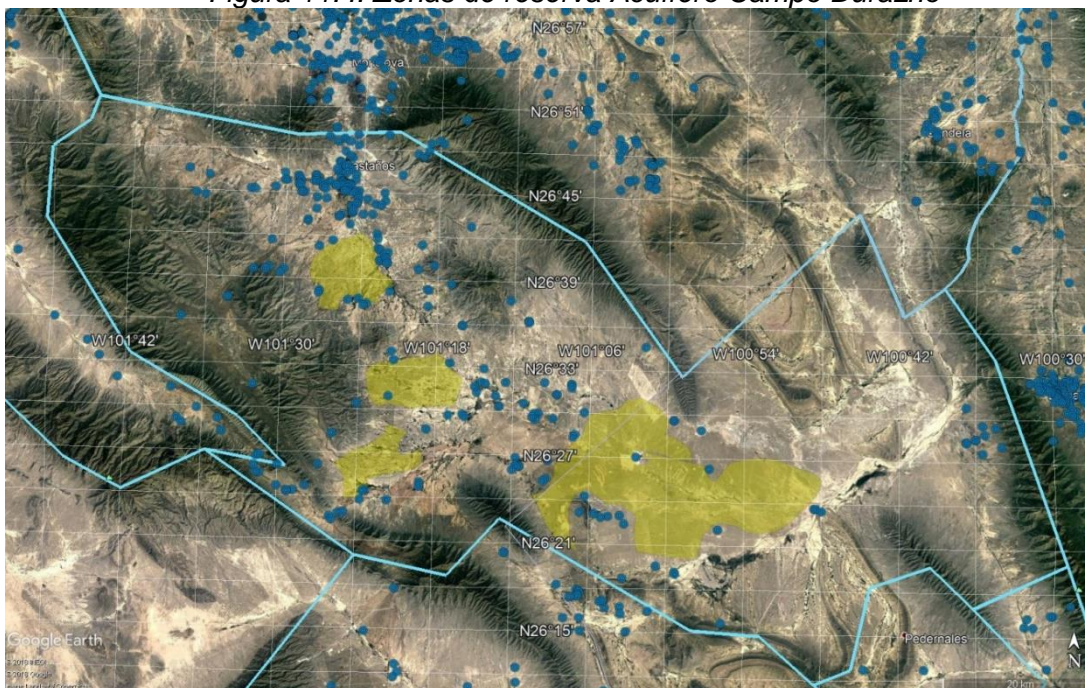


Figura 11.5. Zonas de reserva Acuífero Castaños

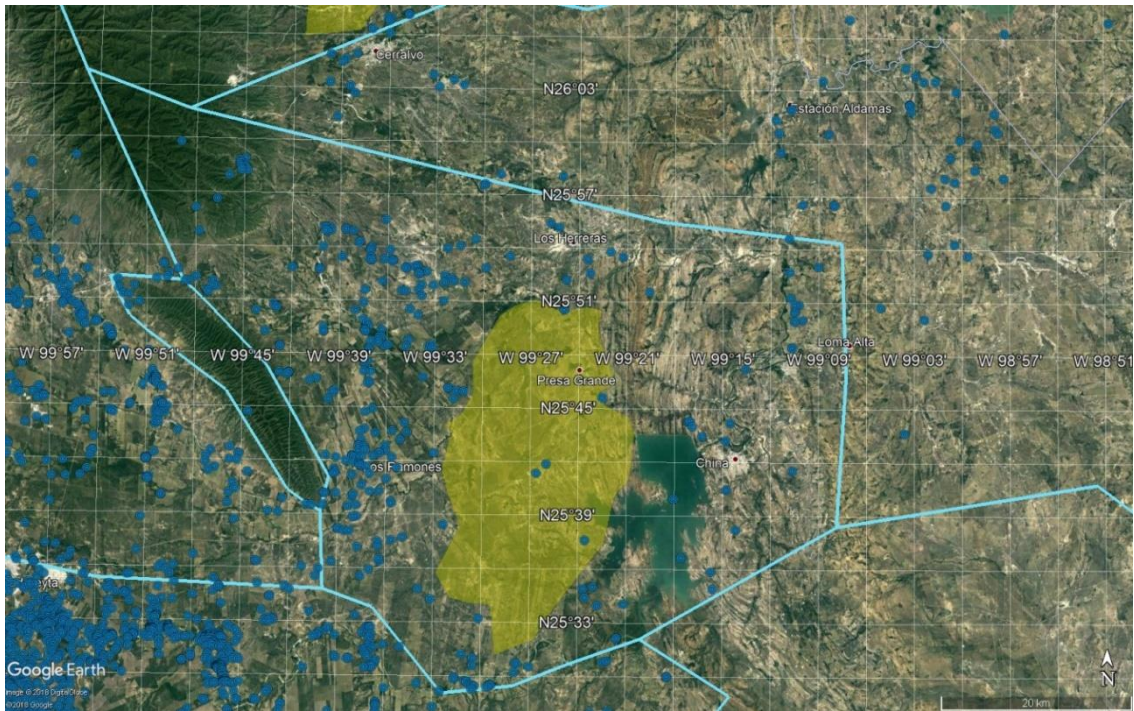


Figura 11.6. Zonas de reserva Acuífero China- General Bravo

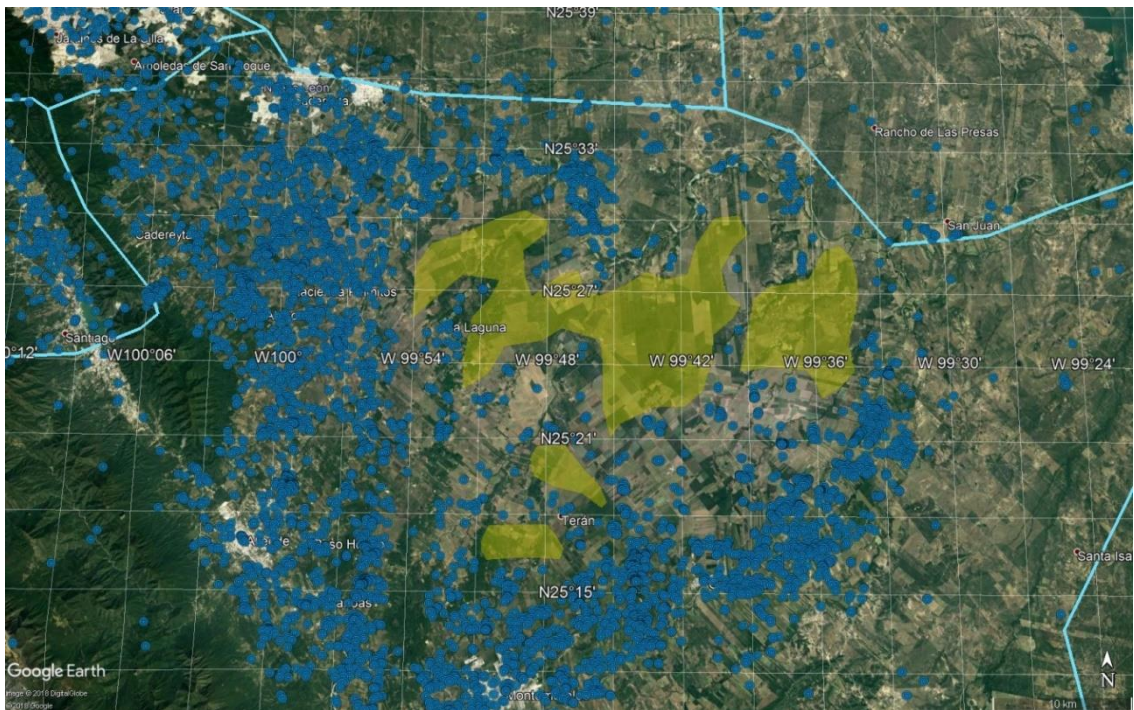


Figura 11.7. Zonas de reserva Acuífero Citrícola Norte



Figura 11.8. Zonas de reserva Acuífero El Carmen- Salinas- Victoria

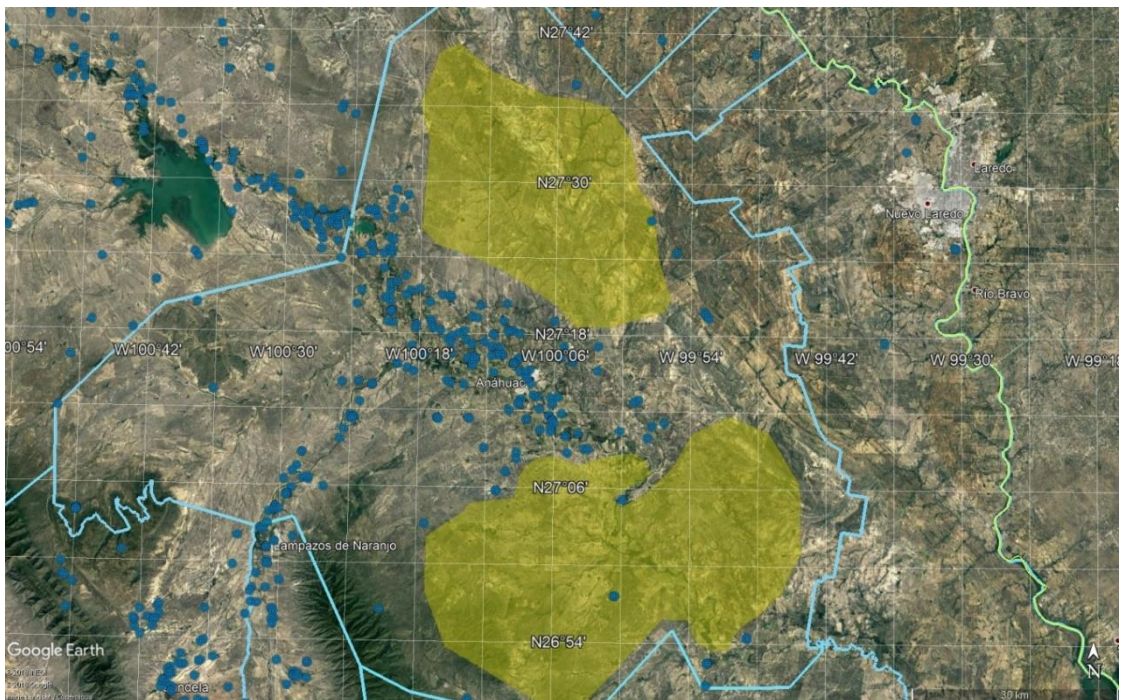


Figura 11.9. Zonas de reserva Acuífero Lampazos-Anáhuac

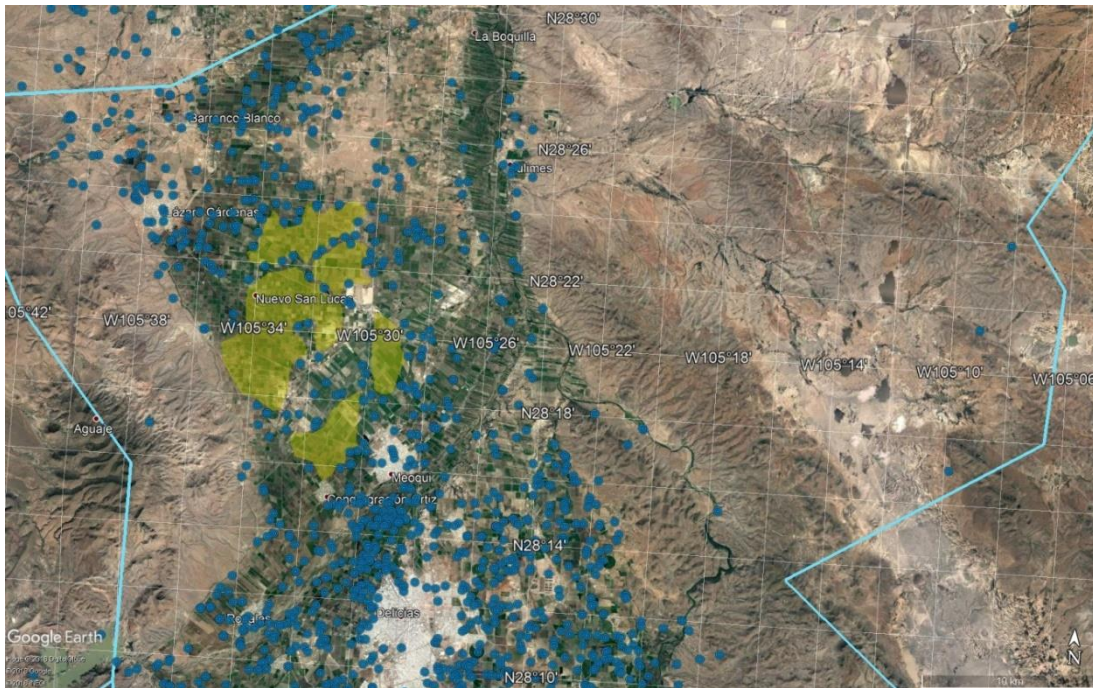


Figura 11.10. Zonas de reserva Acuífero Meoqui- Delicias

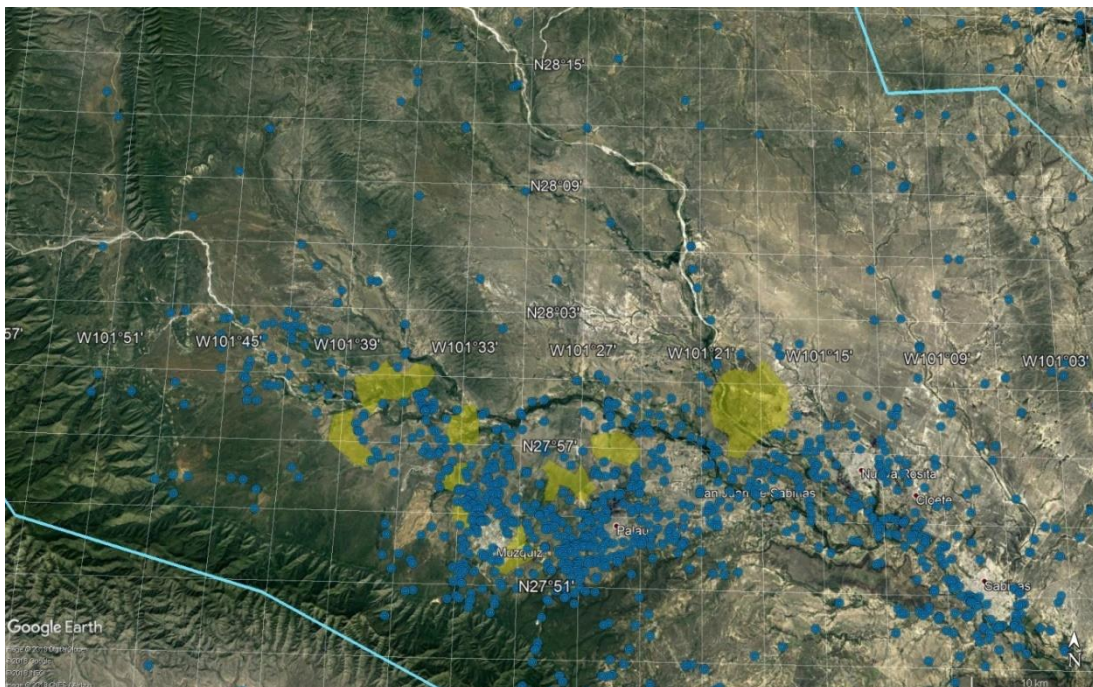


Figura 11.11. Zonas de reserva Acuífero región Carbonífera

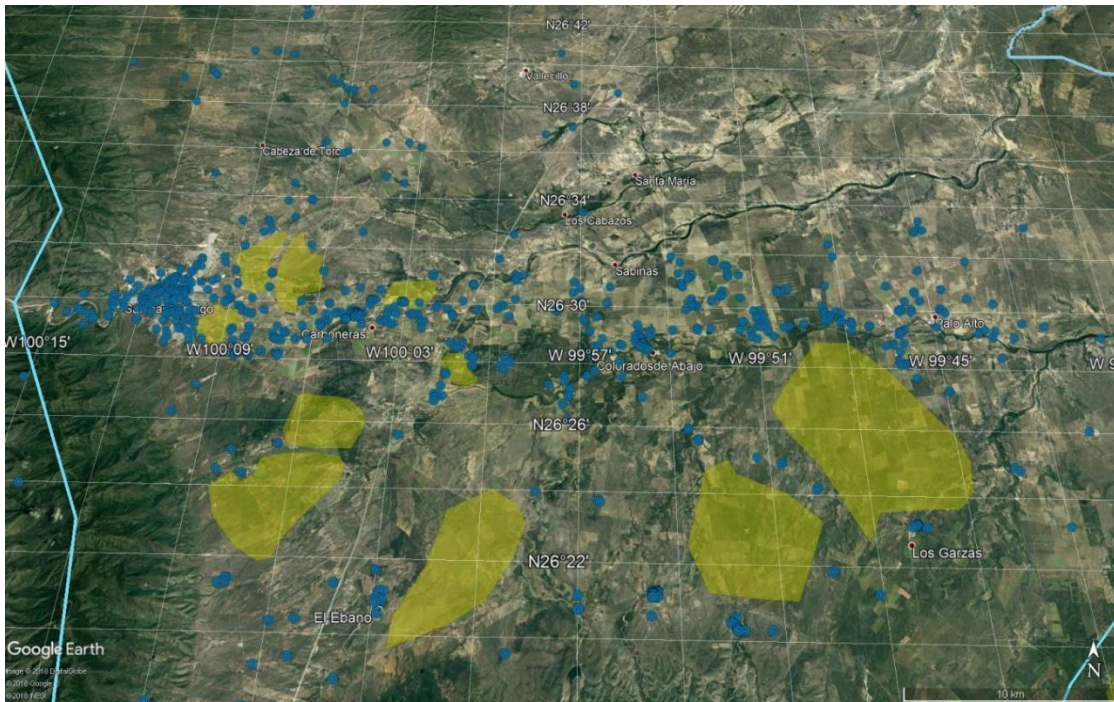


Figura 11.12. Zonas de reserva Acuífero Sabinas-Parás

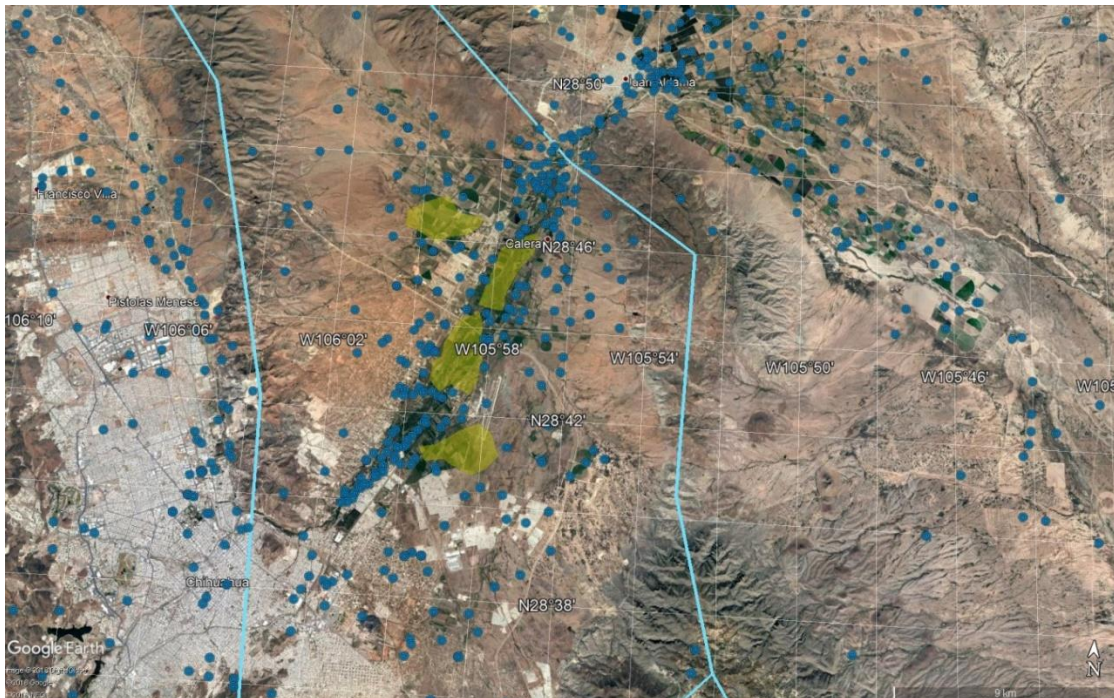


Figura 11.13. Zonas de reserva Acuífero Tabaloapa-Aldama

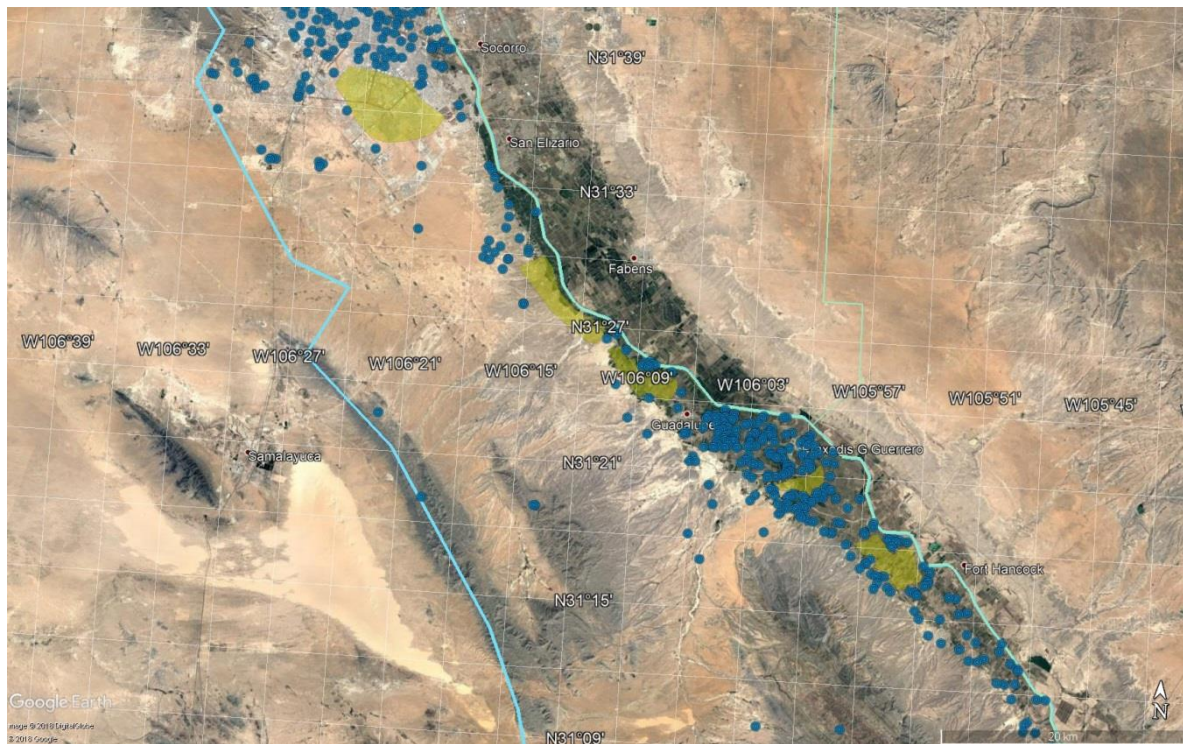


Figura 11.14. Zonas de reserva Acuífero Valle de Juárez

12. CONTROL DE INUNDACIONES Y SEQUÍA

12.1 CONTROL DE INUNDACIONES.

Aunque la RH24 comprende parte de las entidades de Chihuahua, Coahuila, Durango, Nuevo León y Tamaulipas, solamente hay grandes ciudades fronterizas en tres de esos cinco estados; en Chihuahua está Ciudad Juárez, en Coahuila está Piedras Negras y en Tamaulipas están Nuevo Laredo, Reynosa y Matamoros, como puede apreciarse en la siguiente Figura 12.1.

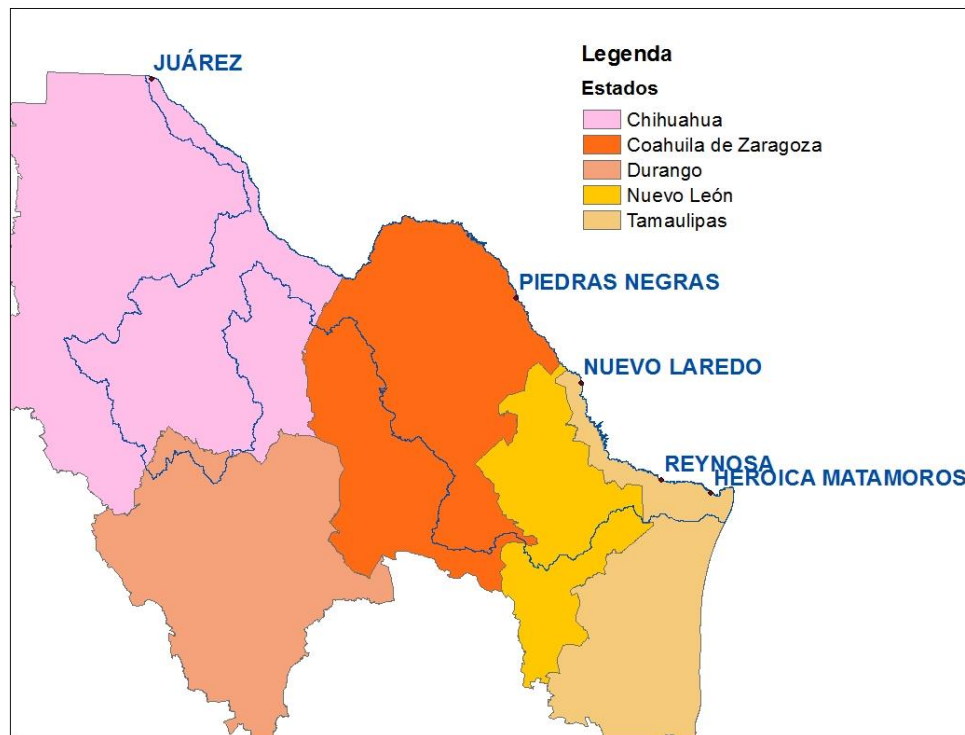


Figura 12.1. Principales ciudades fronterizas dentro de la Región Hidrológica número 24

Tipos de inundación:

- Inundaciones Pluviales, el agua de la lluvia satura la capacidad del terreno y se acumula en depresiones topográficas en las que permanece por horas o días.
- Inundaciones fluviales, el agua que fluye en los ríos alcanza el nivel máximo y se desborda hacia las planicies adyacentes donde permanece hasta que el nivel del agua en el río cede.
- Inundaciones por rupturas de bordos, diques y presas, la falla de las obras hidráulicas genera un flujo hacia fuera de los drenes que propicia la salida repentina de una gran cantidad de agua, provocando efectos catastróficos.

De acuerdo con los programas estatales y municipales, la problemática de inundaciones en zonas urbanas tienen diversos problemas en la región los cuales están abordados tanto en los Programas Estatales de Protección Civil, como en los Atlas de Riesgos Municipales, por tal motivo, se describirán por separado los problemas asociados con cada una de esas ciudades.

12.1.1 Ciudad Juárez, Chihuahua

De acuerdo con el Programa Estatal de Protección Civil, Ciudad Juárez los desastres naturales han dejado secuelas de pérdidas materiales, pero principalmente pérdidas humanas originadas por catástrofes naturales en las que destacan las inundaciones las cuales se ven incrementadas por el fenómeno del Cambio Climático, esto debido a la producción de gases de efecto invernadero que repercute en un incremento de la temperatura global y propicia el desarrollo de fenómenos naturales extremos cada vez más frecuentes e intensos.



Figura 12.2. Localización de Ciudad Juárez Chihuahua

La ubicación de Ciudad Juárez, Chihuahua es en el extremo norte de la RH24, colinda al norte y al oriente con la Ciudad de El Paso, Texas, separadas únicamente por el río Bravo, al poniente colinda con la sierra de Juárez, como se observa en la Figura 12.2.

Chihuahua es la entidad federativa más grande en el país, rodeada de extensiones de terreno desérticas con una topografía relativamente plana, lo que la hace susceptible de amenazas naturales entre ellas, las inundaciones.

Se identifican zonas donde los riesgos pueden ser mayores debido a los fenómenos hidrometeorológicos que ocurren en el estado. Lo anterior combinado con la presencia cuerpos de agua y corrientes, incrementan la posibilidad de inundaciones por desbordamiento durante la temporada de lluvias.

Con base en el Atlas de Riesgos de Cd. Juárez, los fenómenos de perturbación generados por precipitaciones, son quizá el peligro o riesgo que con mayor frecuencia se percibe, dado que la presencia de las lluvias aprecia un nuevo patrón que se ha modificado en los últimos años, manifestándose con lluvias más intensas y focalizadas, situación que durante el año 2006, afectó una parte importante del Sur de la ciudad, en lo que se conoce como El Barreal, y en el caso del poniente de la ciudad, se registró quizá uno de los eventos de mayor relevancia por sus efectos destructivos, siendo esta una fuerte avenida en el arroyo del Indio, el cual se origina en la sierra de Juárez, y cuya crecida destruyó en su paso, un número cercano a las 250 viviendas, ubicadas en las colonias Morelos, Socosema, Libertad, Aztecas, Luis Olague, Independencia y Tierra y Libertad. Otro suceso extraordinario fue el acontecido el 26 de julio del 2008, por los remanentes de la tormenta tropical Dolly, provocó una intensa lluvia que ocasionó desbordamiento del Río Bravo y del dren colector Acequia del Pueblo además de serias inundaciones en más de la mitad de la ciudad por el colapso que sufrió el sistema de drenaje y el riesgo que presentaron cuatro diques por desbordamiento. Entre las colonias más afectadas por esta tormenta están las de la Zona El Barreal, Infonavit Casas Grandes, La Cuesta, Lomas de San José y Felipe Ángeles, ubicadas al poniente de la ciudad.

Aun con los esfuerzos del gobierno por construir infraestructura para el control de las inundaciones en las partes bajas, un porcentaje importante de efectos generados por los lluvias torrenciales, se asocian a procesos económicos como la extracción de materiales pétreos en las parte media y baja de la Sierra de Juárez, y a la invasión de zonas federales de los arroyos así como a la urbanización en zonas con baja aptitud para el desarrollo urbano; todo ello se ha traducido en daños y pérdidas de vidas.

El Atlas municipal de riesgos exhibe las áreas susceptibles a inundaciones, que fueron identificadas a partir de topografía obtenida por medio de la tecnología LIDAR, siendo las áreas más susceptibles las ubicadas en la zona más plana de la mancha urbana, en donde se asume que la causa principal es por la falta de infraestructura pluvial.

En áreas circunvecinas a la localidad y al suroeste del municipio, existen terrenos conformados por suelos lacustres, con drenaje deficiente y asentados sobre planicies que son susceptibles a inundarse solo durante la época de mayores precipitaciones, es decir, durante julio-octubre.

En 2004 fue elaborado el Plan Sectorial de Manejo de Agua Pluvial, el cual incluye el análisis estadístico de lluvias extraordinarias para la determinación de los periodos de retorno, habiendo sido actualizado en el año 2008, incorporando los datos de precipitación del periodo 2003-2008.

En general, Cd. Juárez puede incrementar la seguridad de la población con diversas medidas no estructurales y también son necesarias algunas medidas estructurales. La medida no estructural principal es la concientización de la población, para evitar los asentamientos irregulares dentro de las zonas federales o en lugares de riesgo adyacentes a dichas zonas federales, en ese sentido se puede proponer un uso mixto que incluya zonas de regulación de avenidas que en época de estiaje pueden funcionar como lugares de recreo o algún otro tipo de uso que evite el asentamiento de zonas urbanas.

Es necesario como medidas estructurales construir drenaje pluvial a lo largo de lo que algún día fueron las corrientes naturales que drenaban a la zona, la mayor parte de las inundaciones se dan de esa forma, desbordamiento de los drenes naturales que han visto modifico el régimen de escurrimiento, recuperación de algunos de esos drenes y bocas de tormenta que permitan el flujo hacia esa infraestructura de drenaje pluvial.

12.1.2 Piedras Negras, Coahuila

La ciudad de Piedras Negras colinda al norte con el municipio de Jiménez, al sur con el municipio de Nava, al oeste con el municipio de Zaragoza y al este con la ciudad de Eagle Pass, Texas.

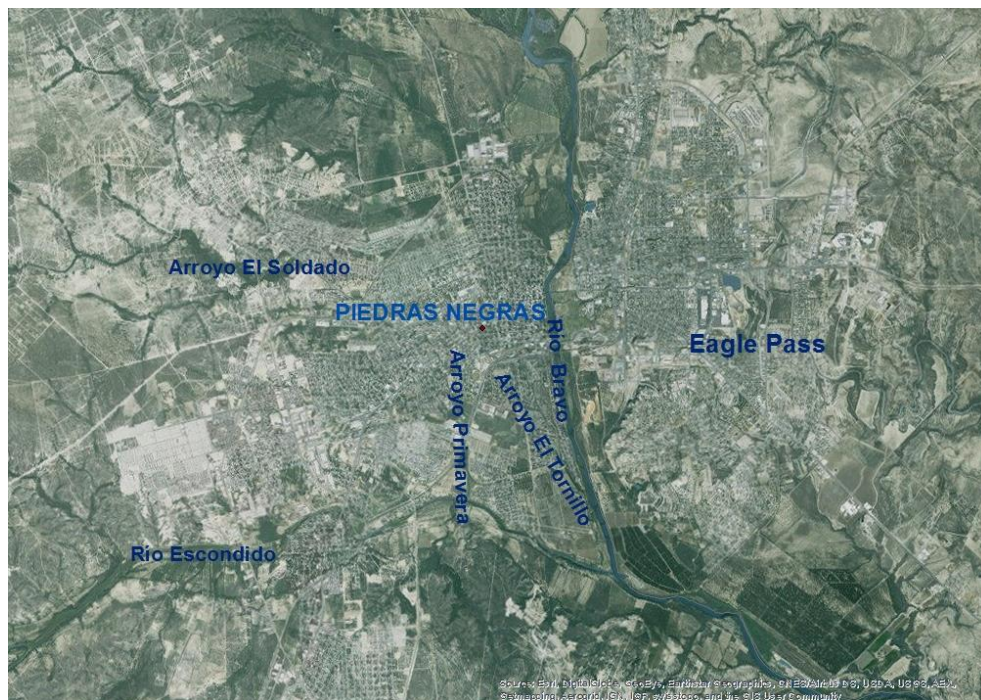


Figura 12.3. Localización de Piedras Negras Coahuila

Al igual que en otras ciudades de la frontera norte, en la Ciudad de Piedras Negras los desastres naturales han dejado secuelas de pérdidas materiales y humanas originadas por catástrofes naturales en las que destacan las inundaciones que se ven incrementadas por un lado con el fenómeno del Cambio Climático que propicia el desarrollo de fenómenos naturales extremos cada vez más frecuentes e intensos y por otro lado con el crecimiento desordenado de la mancha urbana que en muchos de los casos invade zonas federales y zonas planas adyacentes a los ríos.

Lo anterior se manifiesta claramente en los tres principales drenes que cruzan la ciudad en los que de acuerdo con el reporte realizado por la Universidad Autónoma de Nuevo León y avalado por la Conagua, exhiben problemas similares en el Arroyo del Soldado, el Arroyo Primavera y el Arroyo del Tornillo, como se observa en la Figura 12.3, en los que el crecimiento de la mancha urbana por un lado ha reducido la capacidad hidráulica de dichos drenes, y por otro lado ha incrementado el coeficiente de escurrimiento y reducido el tiempo de acumulación de las ondas de avenida, en todos los casos se tienen identificadas las zonas de la mancha urbana correspondientes a una simulación en las condiciones actuales, las propuestas de solución generan la necesidad de ampliar los canales principales y explorar la posibilidad de instalar drenaje pluvial en las zonas mas altas.



Figura 12.4. Mapa de inundaciones de Piedras Negras, Coahuila

12.1.3 Nuevo Laredo, Tamaulipas

La principal colindancia de la ciudad de Nuevo Laredo, es la ciudad de Laredo Texas, separadas por el río Bravo, como puede apreciarse en la siguiente figura.

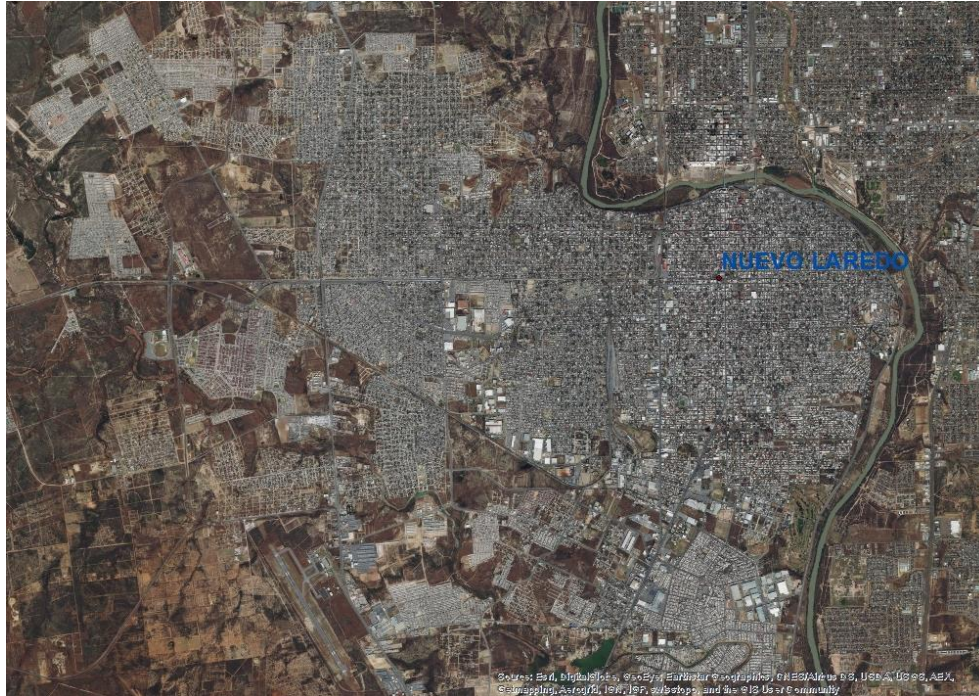


Figura 12.5. Localización de Nuevo Laredo, Tamaulipas

De acuerdo con el Atlas de Riesgos del Estado de Tamaulipas, en el estado se identificaron las ciudades de Nuevo Laredo, Reynosa y Matamoros como las tres principales ciudades fronterizas susceptibles a inundaciones.

En la Figura 12.5 se aprecia que a Nuevo Laredo no lo cruzan cauces de gran importancia, por tal motivo el mayor peligro asociado a las inundaciones es el producto de las avenidas que transitan el Río Bravo, esto es por el aporte de las lluvias extraordinarias o por los excedentes en la cuenca alta. Se han reportado caudales de hasta 23,000 m³/s, aunque la construcción en 1968 de la Presa de La Amistad en la frontera entre Coahuila y Texas redujo considerablemente el régimen de escurrimientos.

El centro de Nuevo Laredo tiene un menor nivel de riesgo, gracias a que se encuentra en una pequeña sobre elevación que hace más difícil el desbordamiento, aunque el bordo que protege esa zona presenta cierto nivel de riesgo por efectos de erosión y falta de protección del talud. Se tienen identificados como sitios altamente riesgosos los adyacentes a los puentes internacionales, las zonas de aduanas y registro de vehículos así como algunos asentamientos humanos irregulares y anuncios espectaculares ubicados en las márgenes del río.

La zona considerada con mayor riesgo de inundación es el punto conocido localmente como “El Remolino”, debido a inflexión del curso del Río Bravo, la convergencia de dos arroyos importantes y la presencia de terrenos planos en las cercanías.

En resumen, los problemas de inundaciones en la ciudad de Nuevo Laredo es consecuencia principalmente del desbordamiento del río Bravo, por tal motivo, las zonas que padecen este problema son las adyacentes al río, a lo largo del mismo existen diversas obras de protección contra inundaciones que ayudan a disminuir el problema.

12.1.4 Reynosa, Tamaulipas

La ciudad de Reynosa, por estar ubicada en una planicie con lomeríos muy bajos, es proclive a las inundaciones, y cada vez que ocurren lluvias torrenciales la acumulación de agua provoca daños materiales importantes.

De acuerdo con el Atlas Nacional de Riesgos de la República Mexicana, la ciudad de Reynosa se encuentra dentro de la lista de las ciudades con mayor riesgo y ubicada dentro de las zonas susceptibles de inundaciones que pueden causar daños importantes. Con referencia al CENAPRED, (2011) Al menos 80 colonias están propensas a ser afectadas por inundación, encharcamientos y desbordamiento de escurrimientos como resultado de las precipitaciones pluviales que se originan por lo general en la temporada de huracanes.

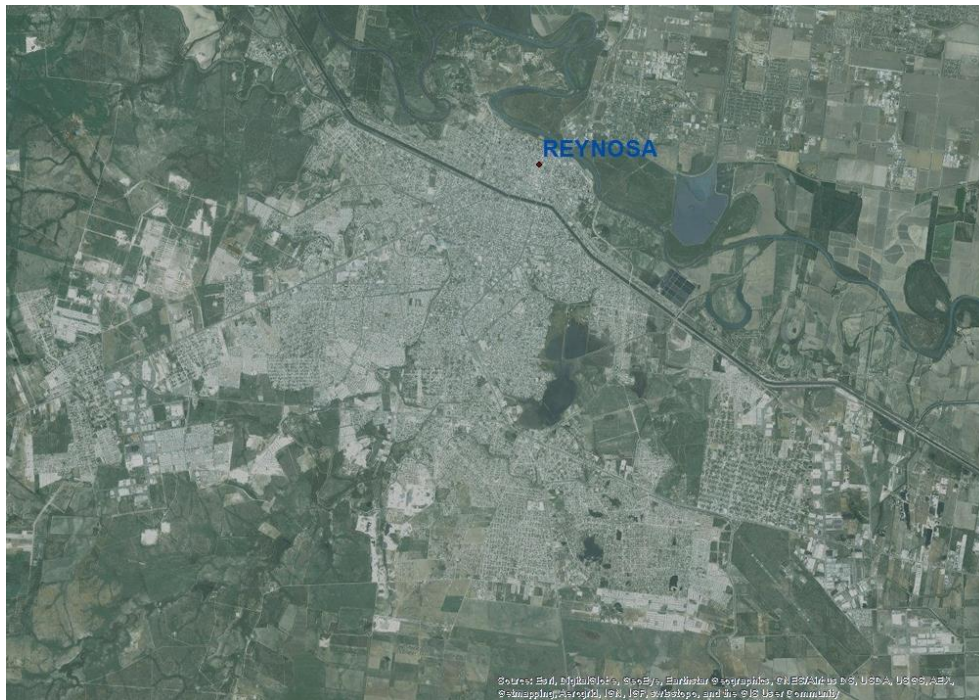


Figura 12.6. Localización de Reynosa, Tamaulipas

De acuerdo con el estudio “Proyecto Integral de drenaje pluvial de la ciudad de Reynosa, Tamaulipas”, desarrollado por la Coordinación de Hidrología del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua para la Comisión Estatal del Agua de Tamaulipas, bajo el convenio de colaboración C.C.3.3.0.2016.-025 , se presentan los siguientes resultados.

El municipio de Reynosa está ubicado en la parte norte de Tamaulipas y pertenece a la subregión 2. La cabecera municipal, situada en la ciudad de Reynosa, se localiza a los 26°05' de latitud norte y a los 98°18' de longitud oeste, a una altura de 38 metros sobre el nivel del mar. Colinda al Norte con los Estados Unidos de Norteamérica, a través del Río Bravo; al Sur con el Municipio de Méndez; al Este con el de Río Bravo y al Oeste con el de Díaz Ordaz y el Estado de Nuevo León.

Desde los años cincuenta la ciudad quedó delimitada en su crecimiento por el río Bravo y el canal Anzaldúas en el norte, el canal Rhode por el sur y tierras bajas lagunarias ubicadas dentro del Distrito de Riego # 026 hacia el oriente. En un principio la ciudad creció entre el canal Anzaldúas y el río Bravo padeciendo inundaciones de tipo local en las crecidas del propio río. Sin embargo, su posición topográfica relativamente elevada le permitió superar estos problemas.

La ciudad manifestó un crecimiento explosivo a partir de los años noventa y no habiendo espacios disponibles en las zonas altas del norte no tuvo más opción que extenderse hacia el

sur. Una migración calculada en el 30% de la población actual la hizo llegar casi al millón de habitantes.

La parte sur se llenó de colonias populares en las que se estima se encuentran más de 150,000 habitantes además de parques industriales, hoteles y cientos de comercios. Las colonias populares han invadido todas las zonas bajas lagunarias las cuales se inundan con relativa facilidad al presentarse precipitaciones del orden de los 50 mm. El dren "El Anheló" construido originalmente para desaguar aguas superficiales provenientes de las tierras agrícolas del Distrito de Riego # 026 se ve limitado en su capacidad para desaguar las aguas provenientes de escurrimientos urbanos. Las inundaciones de septiembre del 2006 pusieron en peligro, no solamente a toda esta población sino que también paralizaron a la ciudad al cortar el tráfico por la importante avenida Hidalgo y el libramiento Monterrey-Matamoros. Cálculos preliminares permiten estimar que precipitaciones similares a las ya ocurridas podrían ocasionar avenidas mayores de 180 m³/s.

Por otro lado, el sistema de alcantarillado de Reynosa fue diseñado de tipo separado, sin embargo como la ciudad carece de un sistema de alcantarillado pluvial, ésta recibe grandes cantidades de agua de lluvia. Cuenta con colectores y subcolectores que requieren reparaciones o sustituciones por antigüedad, deterioro por corrosión y azolvamiento. Alrededor de un 25 % de los predios que disponen de alcantarillado municipal, siguen utilizando como método de desalojo las fosas sépticas y los pozos negros. Se cuenta con 13 estaciones de bombeo. En ocasiones, los colectores trabajan con carga cuando el equipo en los cárcamos es insuficiente, al reducir la velocidad de escurrimiento se sedimentan los residuos sólidos, provocando descomposición que libera olores desagradables y provoca corrosión en la tubería. Además, al entrar los colectores en carga derraman hacia la vía pública. Algunas estaciones de bombeo, como la 3 y 10, cuentan con líneas de excedencia que vierten aguas residuales crudas a los cuerpos receptores.

La infraestructura actual existente en la ciudad de Reynosa, Tamaulipas está integrada por drenes principales tal como el Dren Anzaldúas y Rhode, también cuenta drenes secundarios así como el Santa Anita y El Anheló por mencionar algunos.

El Dren principal Anzaldúas inicia en su parte inicial tiene una capacidad de 280 m³/s, aunque se reduce a 250 m³/s después de los primeros 4 km de donde inicia, ya que en esta parte se tiene la estación de bombeo Anzaldúas-Rhode como fuente alternativa para apoyar el abastecimiento de la tercera unidad del distrito de riego 026 Bajo Río San Juan, Tamaulipas, o para abastecer el servicio público urbano de Reynosa.

El canal Anzaldúas sirve también como límite occidental oficial y físico del distrito de riego 026, regando áreas ubicadas sólo en su margen izquierda. El límite oriental del distrito de riego es la carretera federal 101 Matamoros-Cd. Victoria (Pedroza & Hinojosa, 2014).

El canal Guillermo Rhode, que atraviesa gran parte de la ciudad de Reynosa que sirve para regar los sembradíos de sorgo en el distrito 026, aparentemente el agua se encuentra en buen estado, pero en la actualidad presenta un problema grave de contaminación cuando el canal baja el nivel debido a que existen descargas de aguas sanitarias así como basura proveniente de descargas domésticas de vecinos aledaños al canal.

El Dren Santa Anita y el Dren El Anhelito, conductores de aportaciones provenientes de la zona sur y sureste de la ciudad. La naturaleza de estos drenes fue concebida para un desarrollo progresivo de la ciudad, pero el crecimiento demográfico visualizado en esta ciudad ha rebasado las expectativas con las que se contaban. Diferentes circunstancias han obligado a que la población se asiente en zonas federales (derechos de vía de los drenes) y esto ha traído la situación actual de estas obras.

El sistema de alcantarillado de Reynosa fue diseñado de tipo separado, sin embargo como la ciudad carece de un sistema de alcantarillado pluvial, el sistema recibe grandes cantidades de agua de lluvia. Cuenta con colectores y subcolectores que requieren reparaciones o sustituciones por antigüedad, deterioro por corrosión y azolvamiento. Asimismo, cuenta con dos plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) con sus respectivas estaciones de bombeo, 39 estaciones de bombeo de aguas residuales (EBAR) y la red primaria de alcantarillado tiene una longitud de aproximadamente 103 km, comprende diámetros mayores o iguales a 25 cm.

Además de lo anterior, cabe mencionar, que la Ciudad de Reynosa también se ve afectada por intensas lluvias acompañados de ráfagas que se originan durante la temporada de ciclones tropicales, esto como consecuencia de los cambios o perturbaciones que ocurren entorno de la atmósfera y también incrementados por el Cambio Climático.

Un dato importante que resaltan las autoridades de Protección civil de la localidad es que, “según el Atlas de Riesgo se desprende que en Reynosa existen unas 124 colonias de 410 consideradas en zona de riesgo debido a que se encuentran ubicadas en zonas bajas o aledañas a los canales o drenes, de ellas unas 30 registran alto probabilidad de inundación, además nueve registran problemas mínimos, 11 se inundan de manera parcial, 27 colonias registran inundaciones menores, 47 colonias se inundan en forma total y tres calicheras se inundan en su totalidad”.

Las autoridades municipales tienen claro que el agua que inunda distintos sectores de la ciudad, proviene de las descargas del drenaje pluvial que normalmente van a dar al río y no de un desbordamiento de los drenes que circundan y/o atraviesan la ciudad.

Mediante la modelación hidráulica utilizando el modelo SWMM (Storm Water Management Model, desarrollado por la EPA “Agencia de Protección del Medio Ambiente”) que es un modelo dinámico de simulación de precipitaciones, utilizado para un único acontecimiento o para

realizar una simulación continua en periodo extendido. El módulo de escurrimiento o hidrológico de SWMM funciona con una serie de cuencas en las cuales cae el agua de lluvia y se genera el escurrimiento. El módulo de tránsito hidráulico de SWMM analiza el recorrido del agua a través de un sistema compuesto por tuberías, canales, dispositivos de almacenamiento y tratamiento, bombas y elementos reguladores.

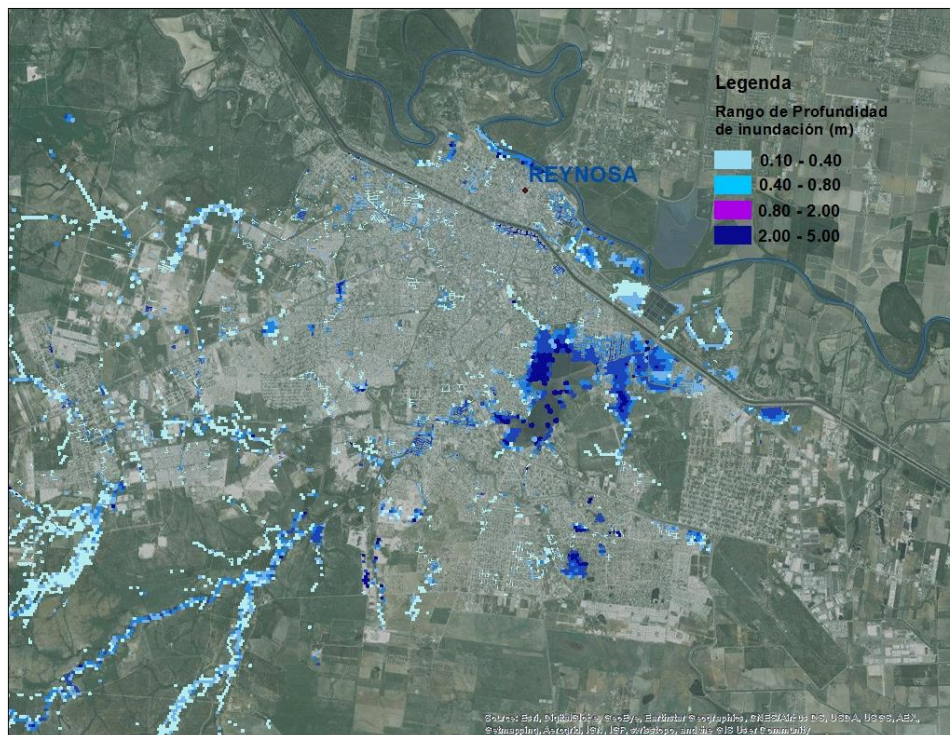


Figura 12.7. Mapa de inundaciones de Reynosa, Tamaulipas

Las deficiencias que muestran los resultados la modelación son:

- El dren Reynosa poniente tiene insuficiencia para descargar los efluentes, debido a que la acumulación del flujo de la parte alta – al poniente del canal Rodhe – presenta un caudal muy importante.
- Otro problema grave es la inundación prolongada y recurrente que se presenta en el nacimiento del dren HEB, específicamente en el cruce de la Av. Hidalgo con la Av. Fuente de Diana.
- Se presenta una inundación importante en el recinto o predio que se encuentra pasando la Av. Hidalgo y antes de atravesar el canal Rodhe, también debido a la insuficiencia de conducción que tiene la alcantarilla actual y a las obstrucciones que se llegan a presentar.
- Prácticamente las acumulaciones de flujo más importantes se presentan en dichas zonas, no siendo éstas las únicas, ya que a lo largo de la zona urbana se presentan

acumulaciones o encharcamientos, los cuales no pueden ser evacuados debido a que la capacidad del dren Reynosa Poniente ha sido mermada y rebasada por los efluentes mencionados que le llegan.

- La problemática de la ciudad de Reynosa se debe al importante crecimiento del área urbana y a lo difícil que resulta aumentar la capacidad de la infraestructura actual.
- Por lo anterior es importante tener claro que la construcción de las presas reguladoras es fundamental para el buen funcionamiento de la solución integral planteada.

12.1.5 Matamoros, Tamaulipas

El municipio de Matamoros se construyó un sistema de riego para beneficiar a la agricultura. De ahí que la ciudad de Matamoros con su crecimiento, sea atravesada por canales de riego, drenes, arroyos y escurrimientos que forman algunas represas de agua dulce, y que forman el Distrito de Riego 025; el cual se construyó para aprovechar las aguas del río Bravo. Adicionalmente la ciudad se encuentra al final de los módulos de riego, es decir, que la red de drenaje del sistema de drenes del Distrito 025 conduce sus descargas a la ciudad, el agua de lluvia drenará y se desalojará después de que las tierras agrícolas aguas arriba drenen su agua pluvial recibida, como se puede apreciar en la siguiente figura considerando el escurrimiento de poniente a oriente.

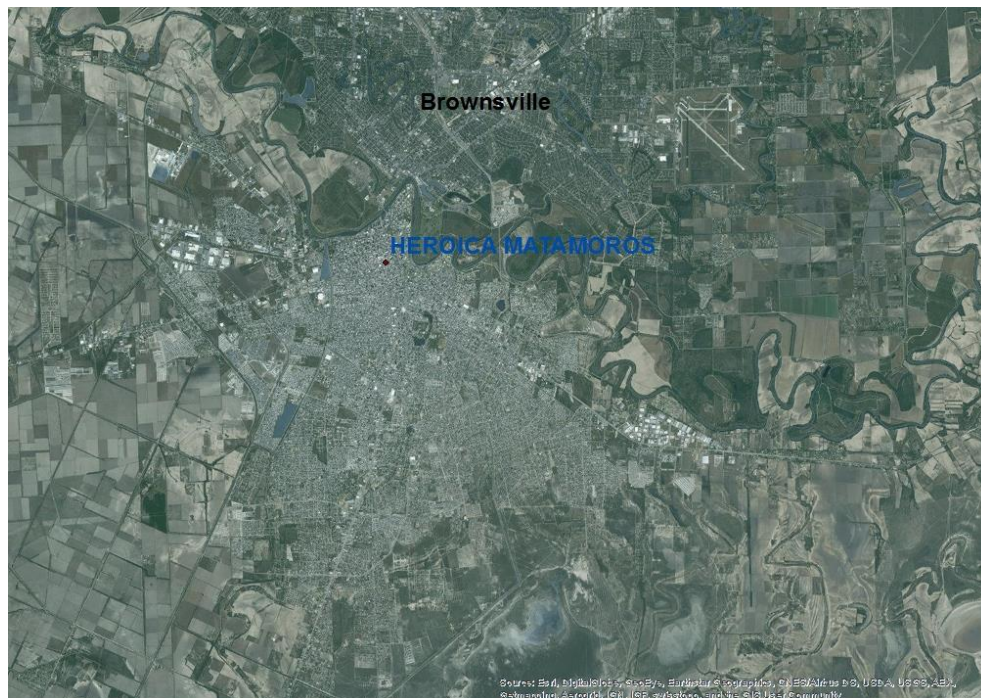


Figura 12.8. Localización de Matamoros, Tamaulipas

De acuerdo con el estudio “Proyecto Integral de drenaje pluvial de la ciudad de Matamoros, Tamaulipas”, desarrollado por la Coordinación de Hidrología del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua para la Comisión Estatal del Agua de Tamaulipas, bajo el convenio de colaboración C.C.3.3.3.0.2016.-026.-26 , se presentan los siguientes resultados.

En la actualidad, la infraestructura hidráulica es ineficiente y se encuentra en condiciones físicas inadecuadas para poder lograr desalojar los volúmenes de agua en los tiempos que se presentan. Además de lo anterior, cabe mencionar, que la Ciudad de Matamoros también se ve afectada por intensas lluvias acompañados de ráfagas que se originan durante la temporada de ciclones tropicales, esto como consecuencia de los cambios o perturbaciones que ocurren entorno de la atmósfera y también incrementados por el Cambio Climático. La ciudad ha experimentado severas inundaciones durante la ocurrencia de varios eventos ciclónicos entre los que destacan el huracán Beulah en 1967 y el huracán Alex en 2010

De manera reducida, los siguientes problemas describen la problemáticas de inundaciones en la ciudad de Matamoros, Tamaulipas:

- A lo largo del dren 32 izquierdo existen algunas zonas de inundación, lo que indica también una deficiencia para desalojar las aguas de dicho dren.
- El dren Principal también presenta zonas de encharcamientos
- Los dos drenes mencionados confluyen aguas abajo de las zonas inundadas.
- Al inicio del dren del niño se observa también una pequeña zona de encharcamiento.
- El dren 20 de noviembre en la confluencia con el dren Abelardo de la Torre y Valle verde presenta problemas de encharcamiento y desalojo de las aguas pluviales.
- También en las zonas de los drenes secundarios: Sección 11, Martha Rita Prince, Las Palmas, Arboledas, Lauro Villar y Cima, existen zonas de encharcamientos.
- Las inundaciones debidas a desbordamiento de canales, pone en riesgo a todas las viviendas localizadas a lo largo de la traza de los drenes. Sin embargo, no es la única causa de inundación en la zona, también existen algunas otras zonas de encharcamientos, formadas por eventos de lluvia. En la ciudad de Matamoros se cuenta con estaciones de bombeo para desalojo de aguas pluviales y/o sanitarias de dichas zonas.

Las estaciones de bombeo para el desalojo de aguas pluviales que se encuentran dentro de zonas de encharcamiento son:

- Fuentes Ind., Cima 1, Cima 3, I. Zaragoza, en la zona poniente
- Pronaf, Fovissste, 1a. Y Ocampo, 2ª. Y Mina, en la zona norte
- San Francisco, Buena Vista, Los Sauces, Paseo Residencial 1, 2 y 3, en la zona oriente.

Las estaciones de bombeo para el desalojo de aguas sanitarias que se encuentran dentro de zonas de encharcamiento son:

- Marcelino Miranda, Cima 3, Tecnológico, Las Culturas, Vista del Sol, Hogares de Matamoros, Nogalar y La Amistad en la zona poniente
- Praxedis Balboa en la zona norte
- La india, Expo Oriente, Abelardo de la Torre y Lomas de San Juan en la zona centro
- El Caracol, San Pedro, Presidentes 1 y 2, Vamos Tamaulipas, Brisas del valle, Las Brisas, Rinconada de las Brisas, Nuevo Milenio, Sendero, valle Real, Villas de Santa Anita, Las Águilas y Chulavista.

De acuerdo al Atlas de Riesgos Naturales del municipio de Matamoros (Gobierno Municipal de Matamoros 2011), y a las zonas inundadas identificadas por la Comisión Nacional del Agua y la Junta de Aguas y Drenaje de la ciudad de Matamoros, las causas de las inundaciones se deben principalmente la falta de pendiente topográfica y a un nivel freático superficial, del orden de 0.50 a 1.40 metros. Un sondeo independiente elaborado por la UANL en el año 2010, concluye que el NAF en la planta potabilizadora vieja – dentro de la J.A.D. de Matamoros - se encuentra entre 1 a 1.90 m, lo que evita la rápida infiltración del flujo y posterior escurrimiento.

Vegetación, basura y estrechamientos en los drenes dentro de la ciudad son otros factores no menos importantes que ocasionan el retardo del flujo y desborde del mismo dentro de la ciudad. Todo lo anterior produce las inundaciones mostradas en la siguiente figura.

Además de los problema mencionados, los resultados de la modelación exhiben problemas de inundaciones pluviales que como ya se dijo, ocurren en una de topografía plana con muy poca capacidad de infiltración que produce un tiempo de permanencia mayor al que ocurre en otras zonas con mayor capacidad de inundación, por eso en la Figura 12.9 se aprecian diversas manchas de inundación con una profundidad no muy alta.

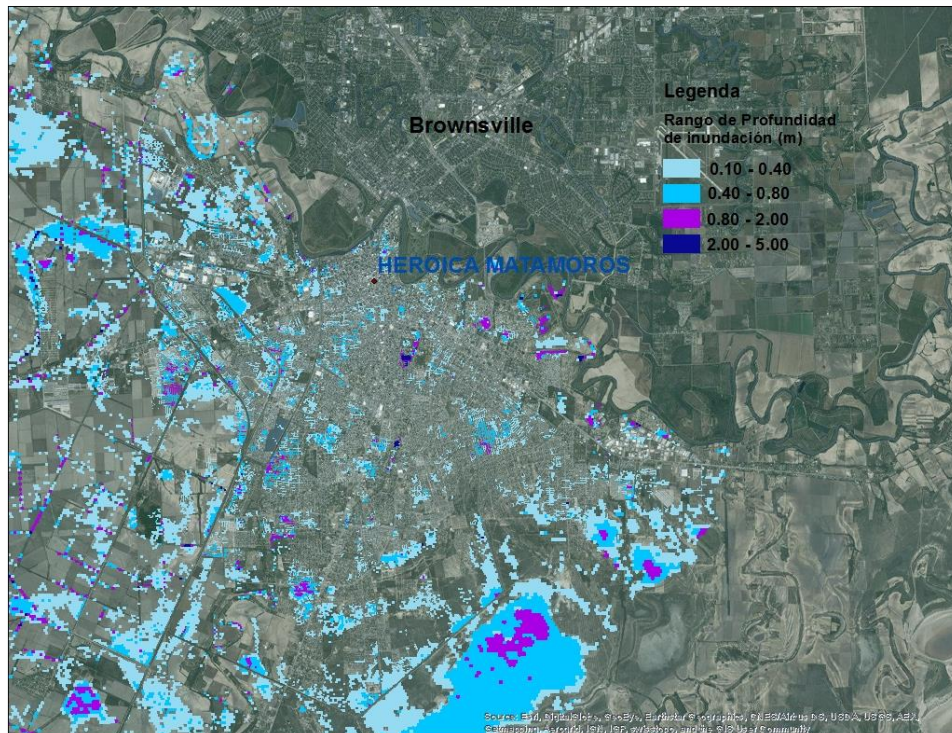


Figura 12.9.. Mapa de inundaciones de Matamoros, Tamaulipas

12.2 ANÁLISIS DE LAS SEQUÍAS METEOROLÓGICAS

En México, el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) es la dependencia oficial del gobierno encargada de proporcionar información meteorológica (estado del tiempo) y climatológica. Para ello utiliza las redes de observación tales como estaciones automáticas, observatorios sinópticos, radares, estaciones de radiosondeo y estaciones receptoras de imágenes de satélite. Como parte de sus actividades de monitoreo, el SMN se encarga de detectar el estado actual y la evolución de la sequía mediante el Monitor de Sequía en México (MSM) que a su vez forma parte del Monitor de Sequía de América del Norte (NADM, por sus siglas en inglés). El MSM inició su operación en 2002 dentro de las actividades del NADM, pero fue hasta el año de 2014 que adquirió su carácter nacional, lo que le permitió emitir mapas de sequía en escala de tiempo diferente a la mensual, siempre basada en la metodología utilizada por el Monitor de Sequía de Estados Unidos (USDM, por sus siglas en inglés) y el NADM. A partir de febrero de 2014 la emisión del MSM es quincenal.

La metodología del MSM se basa en la obtención e interpretación de diversos índices o indicadores de sequía tales como el Índice Estandarizado de Precipitación (SPI) que cuantifica las condiciones de déficit o exceso de precipitación (30, 90, 180, 365 días), Anomalía de Lluvia en Porcentaje de lo Normal (30, 90, 180, 365 días), Índice Satelital de Salud de la Vegetación (VHI) que mide el grado de estrés de la vegetación a través de la radiancia observada, el Modelo

de Humedad del Suelo Leaky Bucket del Centro de Predicción Climática de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (CPC-NOAA) que estima la humedad del suelo mediante un modelo hidrológico de una capa, el Índice Normalizado de Diferencia de la Vegetación (NDVI), la Anomalía de la Temperatura Media, el Porcentaje de Disponibilidad de Agua en las presas del país y la aportación de expertos locales. Estos índices se despliegan en capas o layers a través de un Sistema de Información Geográfica (SIG) y mediante un consenso se determinan las regiones afectadas por sequía, de acuerdo a la escala de intensidades que es común en los tres países (Estados Unidos, México y Canadá) que va desde anormalmente seco (D0), sequía moderada (D1), sequía severa (D2), sequía extrema (D3) hasta sequía excepcional (D4), las cuales significan lo siguiente:

- **Anormalmente Seco (D0):** Se trata de una condición de sequedad, no es una categoría de sequía. Se presenta al inicio o al final de un periodo de sequía. Al inicio de un período de sequía: debido a la sequedad de corto plazo puede ocasionar el retraso de la siembra de los cultivos anuales, un limitado crecimiento de los cultivos o pastos y existe el riesgo de incendios. Al final del período de sequía: puede persistir déficit de agua, los pastos o cultivos pueden no recuperarse completamente.
- **Sequía Moderada (D1):** Se presentan algunos daños en los cultivos y pastos; existe un alto riesgo de incendios, bajos niveles en ríos, arroyos, embalses, abrevaderos y pozos, se sugiere restricción voluntaria en el uso del agua.
- **Sequía Severa (D2):** Probables pérdidas en cultivos o pastos, alto riesgo de incendios, es común la escasez de agua, se deben imponer restricciones en el uso del agua.
- **Sequía Extrema (D3):** Pérdidas mayores en cultivos y pastos, el riesgo de incendios forestales es extremo, se generalizan las restricciones en el uso del agua debido a su escasez.
- **Sequía Excepcional (D4):** Pérdidas excepcionales y generalizadas de cultivos o pastos, riesgo excepcional de incendios, escasez total de agua en embalses, arroyos y pozos, es probable una situación de emergencia debido a la ausencia de agua.

En este contexto, con base en los registros históricos del MSM para cada categoría de sequía se elaboró la gráfica que se presenta en la Figura 12.11, la cual presenta la evolución del porcentaje de área afectada por sequía en la cuenca del río Bravo, desde enero de 2003 hasta noviembre de 2017.

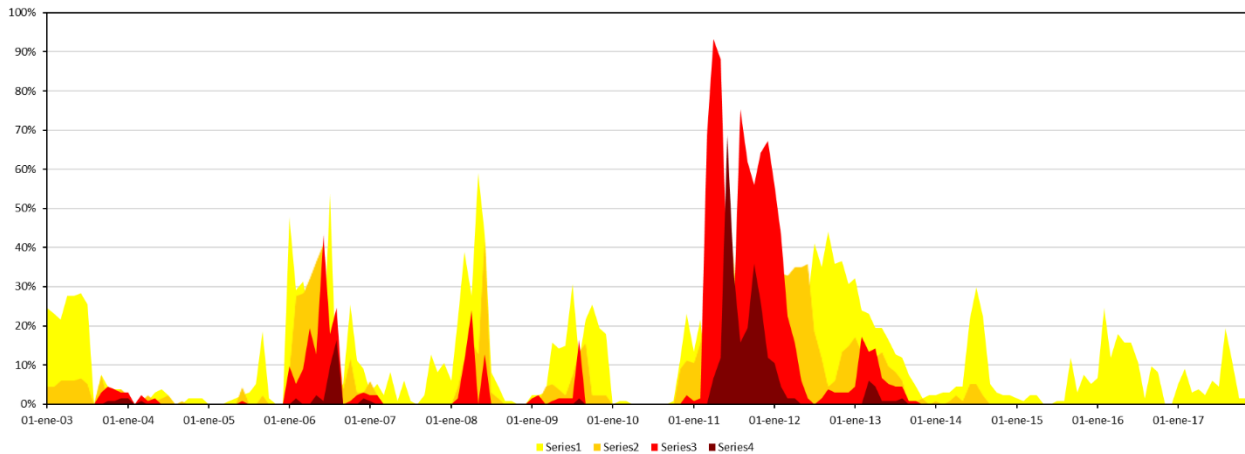


Figura 12.10. Porcentaje de área con sequía en la cuenca del río Bravo (enero 2003-noviembre 2017)

Fuente: elaboración propia con información del MSM (2017).

En esta gráfica se puede observar que la sequía más severa de la última década ocurrió durante los años 2011 y 2012, donde se llegó a tener hasta un 90% de la cuenca afectada por sequía extrema. De hecho, en esos años ocurrió la sequía más severa de las últimas siete décadas a nivel nacional, cuando se tuvieron pérdidas económicas millonarias en los diferentes sectores afectados.

2.1. Determinación del peligro por sequía

El peligro por sequía a escala municipal se determinó calculando la probabilidad de ocurrencia de sequía (frecuencia relativa) mediante los registros del MSM, lo cual implicó la realización de las siguientes actividades:

- a) **Obtención de los registros históricos de sequía por municipio en función de su grado de severidad (D0 a D4) de la página oficial del MSM, y elaboración de una base de datos de Excel.**

Los datos de los registros históricos de sequía se obtuvieron accediendo al link de la página web del MSM <http://smn.cna.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-sequia-en-mexico>. En la Figura 12.12 se muestra dónde se pueden descargar estos registros y en la figura Figura 12.13 se observa la base de datos elaborada a partir de los registros obtenidos.

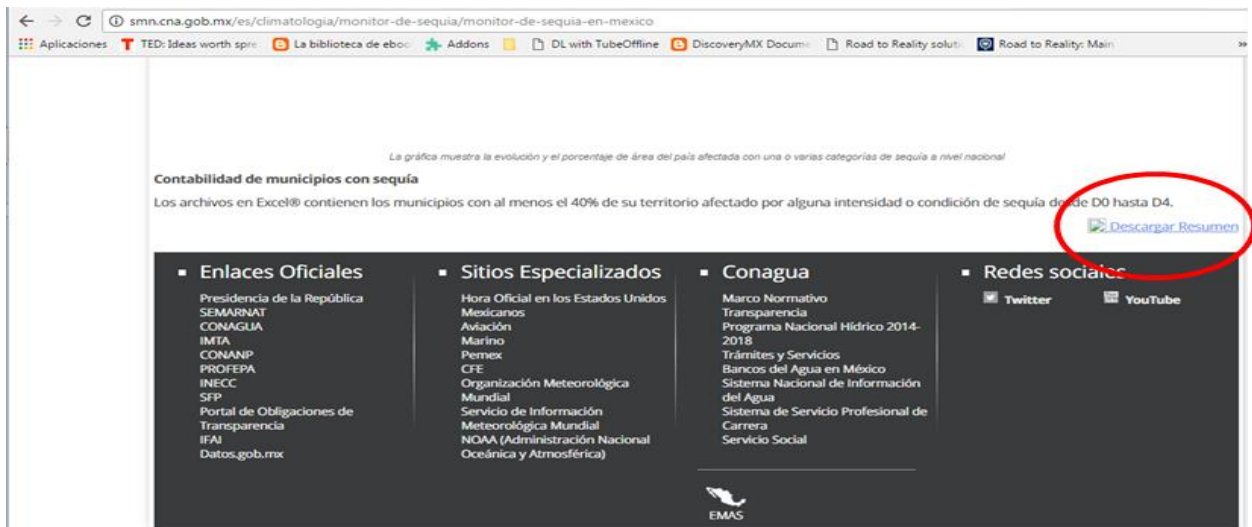


Figura 12.11. Registros históricos de la sequía obtenidos de la página web del MSM.
Fuente: página web del MSM.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	CVE_CONCATENADA	CVE_ENT	CVE_MUN	POB_2001	POB_2011	NOMBRE_MUN	ENTIDAD	ORG_CUENCA	CLV_OC	CON_CUENCA	CVE_CONC	31-ene-03	28-feb-03	31-mar-03	30-abr-03	31-ma
14	02002	02	002	885962	936826	Mexicali	Baja Calif Peninsula de Baja C.I.	Baja California	2	D0	D2	D1	D1	D1		
15	02003	02	003	91034	101079	Tecate	Baja Calif Peninsula de Baja C.I.	Baja California	2	D1	D0					
16	02004	02	004	1410687	2E+06	Tijuana	Baja Calif Peninsula de Baja C.I.	Baja California	2	D0						
17	02005	02	005	73905	90668	Playas de Rosarí	Baja Calif Peninsula de Baja C.I.	Baja California	2	D0	D0					
18	03001	03	001	63830	70816	Comandú	Baja Calif Peninsula de Baja C.I.	Baja California Sur	1							
19	03002	03	002	52743	59114	Mulegé	Baja Calif Peninsula de Baja C.I.	Baja California Sur	1							
20	03003	03	003	219596	251871	La Paz	Baja Calif Peninsula de Baja C.I.	Baja California Sur	1	D0	D0	D0	D0	D0	D0	
21	03008	03	008	164162	238487	Los Cabos	Baja Calif Peninsula de Baja C.I.	Baja California Sur	1	D2	D2	D2	D2	D2	D2	
22	03009	03	009	11839	16738	Loreto	Baja Calif Peninsula de Baja C.I.	Baja California Sur	1							
23	04001	04	001	49850	52890	Calkiní	Campeche	Península de Yucatán	25		D0					
24	04002	04	002	238850	259005	Campeche	Campeche	Península de Yucatán	25	D0	D1			D0	D0	
25	04003	04	003	199988	221094	Carmen	Campeche	Península de Yucatán	25	D0	D1	D1	D1	D1	D1	
26	04004	04	004	76116	83021	Champotón	Campeche	Península de Yucatán	25	D0	D1	D0	D0	D0	D0	
27	04005	04	005	26973	28306	Hecelchakán	Campeche	Península de Yucatán	25	D0	D0					
28	04006	04	006	34687	37777	Hopelchén	Campeche	Península de Yucatán	25	D0						
29	04007	04	007	8290	8352	Palizada	Campeche	Frontera Sur	MI	Ríos Grijalva y Usumacinti	24	D0	D1	D1	D1	D1
30	04008	04	008	9050	9736	Tenabo	Campeche	Península de Yucatán	25	D1	D1					
31	04009	04	009	50106	54184	Escárcega	Campeche	Península de Yucatán	25	D0	D0	D0	D0	D0	D0	
32	04010	04	010	23814	26882	Calakmul	Campeche	Península de Yucatán	25	D0	D0					
33	04011	04	011	37006	41194	Candelaria	Campeche	Península de Yucatán	25	D0	D0	D1	D1	D1	D1	
34	05001	05	001	991	1070	Abasco	Coahuila d Río Bravo	VI	Río Bravo	12						
35	05002	05	002	126238	136755	Acuña	Coahuila d Río Bravo	VI	Río Bravo	12	D0	D0	D0	D0	D0	D0
36	05003	05	003	20159	22675	Alameda	Coahuila d Río Bravo	VI	Río Bravo	12						
37	05004	05	004	19622	22544	Artega	Coahuila d Río Bravo	VI	Del Altiplano	14						
38	05005	05	005	1672	1808	Candela	Coahuila d Río Bravo	VI	Río Bravo	12						
39	05006	05	006	23871	25892	Castaños	Coahuila d Río Bravo	VI	Río Bravo	12						
40	05007	05	007	12220	13013	Cuatro Cléneegas	Coahuila d Río Bravo	VI	Río Bravo	12	D1	D1	D0	D1	D1	
41	05008	05	008	2778	2901	Escobedo	Coahuila d Río Bravo	VI	Río Bravo	12						
42	05009	05	009	51528	56676	Francisco I. Mac	Coahuila d Cuencas Centrales d	VII	Nazas-Aguanaval	13	D2	D2	D2	D2	D2	D2
43	05010	05	010	70160	75215	Frontera	Coahuila d Río Bravo	VI	Río Bravo	12						
44	05011	05	011	11234	11692	General Cepeda	Coahuila d Río Bravo	VI	Río Bravo	12						
45	05012	05	012	1877	2091	Guazaco	Coahuila d Río Bravo	VI	Río Bravo	12						
46	05013	05	013	1516	1852	Hidalgo	Coahuila d Río Bravo	VI	Río Bravo	12						

Figura 12.12. Base de datos en Excel de los registros históricos de sequía por municipio en función de su grado de severidad.
Fuente: elaboración propia.

- b) **Determinación de la serie de tiempo que se analizará, tomando en cuenta desde el primero hasta el último mes reportado por el MSM.**

Se analizaron los datos en función de su grado de severidad (D0 a D4) del periodo del 31 de enero del 2003 al 31 de marzo del 2017, el total de meses fueron 171, sin embargo, en dos de estos meses no hubo registro de ningún dato (31 de agosto del 2003 y el 29 de febrero del 2004), por lo tanto, el total de meses analizados fueron 169 (ver Figura 12.14).

	A	B	C	D	E	F	G	H	S	T	U	V	W	X	Y	Z
1	CVE_CONCATENADA	CVE_ENT	CVE_MUN	POB_2001	POB_2011	NOMBRE_MUN	ENTIDAD	ORG_CUENCA	31-ago-03	30-sep-03	31-oct-03	30-nov-03	31-dic-03	31-ene-04	29-feb-04	****
17	02005	02	005	73305	90668	Playas de Rosari	Baja Calif	Peninsula de Baja C								
18	03001	03	001	63830	70816	Comandú	Baja Calif	Peninsula de Baja C								
19	03002	03	002	52743	59114	Mulegé	Baja Calif	Peninsula de Baja C								
20	03003	03	003	219596	251871	La Paz	Baja Calif	Peninsula de Baja C								
21	03008	03	008	164162	238487	Los Cabos	Baja Calif	Peninsula de Baja C								
22	03009	03	009	11839	14738	Loreto	Baja Calif	Peninsula de Baja C								
23	04001	04	001	49980	52890	Calkiní	Campeche	Peninsula de Yucatá								
24	04002	04	002	238850	259005	Campeche	Campeche	Peninsula de Yucatá								
25	04003	04	003	199988	221094	Carmen	Campeche	Peninsula de Yucatá								
26	04004	04	004	76116	83021	Champotón	Campeche	Peninsula de Yucatá								
27	04005	04	005	26973	28306	Hecelchakán	Campeche	Peninsula de Yucatá								
28	04006	04	006	34687	37777	Hopelchén	Campeche	Peninsula de Yucatá								
29	04007	04	007	8290	8362	Palizada	Campeche	Frontera Sur								
30	04008	04	008	9050	9736	Tenabo	Campeche	Peninsula de Yucatá								
31	04009	04	009	50106	54184	Escárcega	Campeche	Peninsula de Yucatá								
32	04010	04	010	23814	26882	Calakmul	Campeche	Peninsula de Yucatá								
33	04011	04	011	37006	41194	Candelaria	Campeche	Peninsula de Yucatá								
34	05001	05	001	991	1070	Abasolo	Coahuila	d Río Bravo								
35	05002	05	002	126238	136755	Acuña	Coahuila	d Río Bravo								
36	05003	05	003	20153	22675	Allende	Coahuila	d Río Bravo								
37	05004	05	004	19622	22544	Arteaga	Coahuila	d Río Bravo								
38	05005	05	005	1672	1808	Candela	Coahuila	d Río Bravo								
39	05006	05	006	23871	25892	Castaños	Coahuila	d Río Bravo								
40	05007	05	007	12220	13013	Cuatro Ciénegas	Coahuila	d Río Bravo								
41	05008	05	008	2778	2901	Escobedo	Coahuila	d Río Bravo								
42	05009	05	009	51528	55676	Francisco I. Mac	Coahuila	d Cuencas Centrales d								
43	05010	05	010	70160	75215	Frontera	Coahuila	d Río Bravo								
44	05011	05	011	11284	11682	General Cepeda	Coahuila	d Río Bravo								
45	05012	05	012	1877	2091	Guerrero	Coahuila	d Río Bravo								
46	05013	05	013	1516	1852	Hidalgo	Coahuila	d Río Bravo								
47	05014	05	014	9768	9935	Jiménez	Coahuila	d Río Bravo								
48	05015	05	015	1393	1599	Juárez	Coahuila	d Río Bravo								
49	05016	05	016	1708	1835	Lamadrid	Coahuila	d Río Bravo								

Figura 12.13. Total de meses analizados con datos en el periodo del 31 de enero del 2003 al 31 de marzo del 2017.
Fuente: elaboración propia.

- c) Obtención de las frecuencias absolutas correspondientes a cada tipo de severidad de sequía (D0 a D4) por municipio, tomando en cuenta aquellos municipios con al menos el 40% de su territorio afectado por algún grado de sequía en la cuenca del río Bravo.

En el periodo del 28 de febrero del 2014 al 31 de marzo del 2017 los registros se encontraron de manera quincenal. Sin embargo, ya que el análisis se realizó de manera mensual, se eliminaron los registros de la primera quincena de este periodo. Para obtener las frecuencias absolutas se realizó un conteo de cuantos D0 hasta D4 hubo en los 169 meses registrados (Figura 12.15). Posteriormente la base de datos fue ordenada de acuerdo a los datos del *shapefile* de municipios como se muestra en la Figura 12.16.

F23 =CONTAR.SI(\$I3:\$FX3,"D0")

	C	D	E	F	G	H	I	FV	FW	FX	FY	GA	GB	GC	GD	G	
	CVE_MUN	NOMBRE_MUN	ENTIDAD	ORG_CUENCA	CLV_OC	CON_CUENCA	CVE_CONC	31-ene-17	28-feb-17	31-mar-17	sin afectac	D0	D1	D2	D3	D4	D0-D4
3	5001	Abasco	Coahuila de Zaragoza	Rio Bravo	VI	Rio Bravo	12	100	25	22	6	14	4				
4	5002	Acuña	Coahuila de Zaragoza	Rio Bravo	VI	Rio Bravo	12	85	41	29	17	9	10				
5	5003	Allende	Coahuila de Zaragoza	Rio Bravo	VI	Rio Bravo	12	86	21	33	16	10	5				
6	5005	Candela	Coahuila de Zaragoza	Rio Bravo	VI	Rio Bravo	12	109	20	19	7	14	2				
7	5006	Castaños	Coahuila de Zaragoza	Rio Bravo	VI	Rio Bravo	12	109	20	19	7	14	2				
8	5007	Cuatro Ciénegas	Coahuila de Zaragoza	Rio Bravo	VI	Rio Bravo	12	108	25	20	7	13	1				
9	5008	Escobedo	Coahuila de Zaragoza	Rio Bravo	VI	Rio Bravo	12	93	41	17	5	11	4				
10	5010	Frontera	Coahuila de Zaragoza	Rio Bravo	VI	Rio Bravo	12	96	25	24	10	11	5				
11	5011	General Cepeda	Coahuila de Zaragoza	Rio Bravo	VI	Rio Bravo	12	101	26	21	8	11	4				
12	5012	Guerrero	Coahuila de Zaragoza	Rio Bravo	VI	Rio Bravo	12	124	19	15	4	9	0				
13	5013	Hidalgo	Coahuila de Zaragoza	Rio Bravo	VI	Rio Bravo	12		74	27	28	17	8				
14	5014	Jiménez	Coahuila de Zaragoza	Rio Bravo	VI	Rio Bravo	12		76	25	20	22	19				
15	5015	Juárez	Coahuila de Zaragoza	Rio Bravo	VI	Rio Bravo	12		63	27	23	31	18				
16	5016	Lamadrid	Coahuila de Zaragoza	Rio Bravo	VI	Rio Bravo	12		91	24	23	10	17				
17	5018	Monclova	Coahuila de Zaragoza	Rio Bravo	VI	Rio Bravo	12		95	38	17	8	8				
18	5019	Morelos	Coahuila de Zaragoza	Rio Bravo	VI	Rio Bravo	12	104	25	17	10	12	3				
19	5020	Múzquiz	Coahuila de Zaragoza	Rio Bravo	VI	Rio Bravo	12	86	24	35	11	10	5				
20	5021	Nadadores	Coahuila de Zaragoza	Rio Bravo	VI	Rio Bravo	12	89	44	15	8	7	8				
21	5022	Nava	Coahuila de Zaragoza	Rio Bravo	VI	Rio Bravo	12	97	32	22	5	9	6				
22	5023	Ocampo	Coahuila de Zaragoza	Rio Bravo	VI	Rio Bravo	12		70	30	22	21	25				
23	5025	Piedras Negras	Coahuila de Zaragoza	Rio Bravo	VI	Rio Bravo	12		104	28	11	13	7				
24	5026	Progreso	Coahuila de Zaragoza	Rio Bravo	VI	Rio Bravo	12		66	29	23	19	25				
25	5027	Ramos Arizpe	Coahuila de Zaragoza	Rio Bravo	VI	Rio Bravo	12		96	25	23	8	14				
26									117	25	12	8	9				

Figura 12.14. Frecuencias absolutas de acuerdo a cada tipo de severidad de sequía (D0 a D4).
Fuente: elaboración propia.

Probabilidad mens_sequias RB.xlsx - Microsoft Excel (Error de activación de productos)

DESVESTP =+BUSCARV(W2,SAS2:\$M\$135,1,FALSO)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC
	CVE_MUN	NOMBRE_MUN	ENTIDAD	ORG_CUENCA	CLV_OC	CON_CUENCA	CVE_CONC	sin afectac	D0	D1	D2	D3	D4			CVE_MUN	NOMBRE_MUN	ENTIDAD	ORG_CUENCA	CLV_OC		
3	5001	Abasco	Coahuila de Zaragoza	Rio Bravo	VI	Rio Bravo	12	100	25	22	6	14	4			8001	Ocampo	Coahuila de Zaragoza	Rio Bravo	VI		
4	5002	Acuña	Coahuila de Zaragoza	Rio Bravo	VI	Rio Bravo	12	85	41	29	17	9	10			8006	Bachiniva	Chihuahua	Rio Bravo	VI		
5	5003	Allende	Coahuila de Zaragoza	Rio Bravo	VI	Rio Bravo	12	86	21	33	16	10	5			8019	Chihuahua	Chihuahua	Rio Bravo	VI		
6	5005	Candela	Coahuila de Zaragoza	Rio Bravo	VI	Rio Bravo	12	109	20	19	7	14	2			8004	Aguiles Serdán	Chihuahua	Rio Bravo	VI		
7	5006	Castaños	Coahuila de Zaragoza	Rio Bravo	VI	Rio Bravo	12	109	20	19	7	14	2			8037	Juárez	Chihuahua	Rio Bravo	VI		
8	5007	Cuatro Ciénegas	Coahuila de Zaragoza	Rio Bravo	VI	Rio Bravo	12	108	25	20	7	13	1			8013	Casas Grandes	Chihuahua	Rio Bravo	VI		
9	5008	Escobedo	Coahuila de Zaragoza	Rio Bravo	VI	Rio Bravo	12	96	25	24	10	11	5			8050	Nuevo Casas Grande	Chihuahua	Rio Bravo	VI		
10	5010	Frontera	Coahuila de Zaragoza	Rio Bravo	VI	Rio Bravo	12	101	26	21	8	11	4			8053	Praxedis G. Guerrero	Chihuahua	Rio Bravo	VI		
11	5011	General Cepeda	Coahuila de Zaragoza	Rio Bravo	VI	Rio Bravo	12	124	19	15	4	9	0			8005	Ascensión	Chihuahua	Rio Bravo	VI		
12	5012	Guerrero	Coahuila de Zaragoza	Rio Bravo	VI	Rio Bravo	12	74	27	28	17	18	7			8025	Gómez Farías	Chihuahua	Rio Bravo	VI		
13	5013	Hidalgo	Coahuila de Zaragoza	Rio Bravo	VI	Rio Bravo	12	76	25	20	22	19	9			8023	Galeana	Chihuahua	Rio Bravo	VI		
14	5014	Jiménez	Coahuila de Zaragoza	Rio Bravo	VI	Rio Bravo	12	63	27	23	31	18	9			8028	Guadalupe	Chihuahua	Rio Bravo	VI		
15	5015	Juárez	Coahuila de Zaragoza	Rio Bravo	VI	Rio Bravo	12	91	24	23	10	17	6			8025	Janos	Chihuahua	Rio Bravo	VI		
16	5016	Lamadrid	Coahuila de Zaragoza	Rio Bravo	VI	Rio Bravo	12	95	38	17	8	8	5			8002	Aldama	Chihuahua	Rio Bravo	VI		
17	5018	Monclova	Coahuila de Zaragoza	Rio Bravo	VI	Rio Bravo	12	104	25	17	10	12	3			8055	Rosales	Chihuahua	Rio Bravo	VI		
18	5019	Morelos	Coahuila de Zaragoza	Rio Bravo	VI	Rio Bravo	12	86	24	35	11	10	5			8021	Delicias	Chihuahua	Rio Bravo	VI		
19	5020	Múzquiz	Coahuila de Zaragoza	Rio Bravo	VI	Rio Bravo	12	89	44	15	8	7	8			8045	Mesaque	Chihuahua	Rio Bravo	VI		
20	5021	Nadadores	Coahuila de Zaragoza	Rio Bravo	VI	Rio Bravo	12	97	32	22	5	9	6			8001	Ahumada	Chihuahua	Rio Bravo	VI		
21	5022	Nava	Coahuila de Zaragoza	Rio Bravo	VI	Rio Bravo	12	70	30	22	21	25	3			8017	Cuauhtémoc	Chihuahua	Rio Bravo	VI		
22	5023	Ocampo	Coahuila de Zaragoza	Rio Bravo	VI	Rio Bravo	12	104	28	11	13	7	8			8054	Riva Palacio	Chihuahua	Rio Bravo	VI		
23	5025	Piedras Negras	Coahuila de Zaragoza	Rio Bravo	VI	Rio Bravo	12	66	29	23	19	25	9			8032	Hidalgo del Parral	Chihuahua	Rio Bravo	VI		
24	5026	Progreso	Coahuila de Zaragoza	Rio Bravo	VI	Rio Bravo	12	96	25	23	8	14	5			8003	Allende	Chihuahua	Rio Bravo	VI		
25	5027	Ramos Arizpe	Coahuila de Zaragoza	Rio Bravo	VI	Rio Bravo	12	117	25	12	8	9	0			8011	Camargo	Chihuahua	Rio Bravo	VI		
26	5028	Sabinas	Coahuila de Zaragoza	Rio Bravo	VI	Rio Bravo	12	89	32	28	8	8	7			8036	Jiménez	Chihuahua	Rio Bravo	VI		
27	5031	San Buenaventura	Coahuila de Zaragoza	Rio Bravo	VI	Rio Bravo	12	96	36	18	6	6	9			8038	Juárez	Chihuahua	Rio Bravo	VI		
28	5032	San Juan de Sabinas	Coahuila de Zaragoza	Rio Bravo	VI	Rio Bravo	12	92	32	24	8	7	8			8052	Ojinaga	Chihuahua	Rio Bravo	VI		
29	5037	Villa Unión	Coahuila de Zaragoza	Rio Bravo	VI	Rio Bravo	12	85	23	30	17	9	7			8062	Sauclillo	Chihuahua	Rio Bravo	VI		
30	5038	Zaragoza	Coahuila de Zaragoza	Rio Bravo	VI	Rio Bravo	12	77	29	35	13	13	4			8042	Manuel Bertrán	Chihuahua	Rio Bravo	VI		
31	8001	Ahumada	Chihuahua	Rio Bravo	VI	Rio Bravo	12	96	21	30	12	10	2			8007	Balaca	Chihuahua	Rio Bravo	VI		
32	8002	Aldama	Chihuahua	Rio Bravo	VI	Rio Bravo	12	92	45	12	8	9	5			8003	Bocoyoma	Chihuahua	Rio Bravo	VI		
33	8003	Allende	Chihuahua	Rio Bravo	VI	Rio Bravo	12	101	33	16	7	11	3			8010	Buenaventura	Chihuahua	Rio Bravo	VI		
34	8004	Aguiles Serdán	Chihuahua	Rio Bravo	VI	Rio Bravo	12	102	39	12	5	8	5			8012	Canichi	Chihuahua	Rio Bravo	VI		
35	8005	Ascensión	Chihuahua	Rio Bravo	VI	Rio Bravo	12	57	36	35	24	12	7			8014	Coronado	Chihuahua	Rio Bravo	VI		
36	8006	Bachiniva	Chihuahua	Rio Bravo	VI	Rio Bravo	12	101	30	22	8	8	2			8015	Coyame del Sotol	Chihuahua	Rio Bravo	VI		
37	8017	Balaca	Chihuahua	Rio Bravo	VI	Rio Bravo	12	102	37	11	11	11	0			8016	La Cruz	Chihuahua	Rio Bravo	VI		
																8018	Custodiado	Chihuahua	Rio Bravo	VI		

Figura 12.15. Base de datos ordenada de acuerdo al shapefile de municipios.
Fuente: elaboración propia.

d) Cálculo de la probabilidad de sequía mediante la envolvente (D0 a D4), y expresión de la misma en porcentaje.

La probabilidad de ocurrencia de un evento determinado, es decir el nivel de certeza que tenemos de que ocurra dicho suceso, es la razón entre el número de veces en que ocurrió dicho evento y el número total de sucesos. A esta razón se le denomina frecuencia relativa.

Para calcular la frecuencia relativa se utilizó la siguiente formula:

$$P(A) = \frac{A}{N}$$

Dónde: P es la probabilidad de ocurrencia; A es el número de meses con sequía; y N el número total de registros en el periodo.

Los valores de la probabilidad oscilan en un rango cerrado de [0, 1]. Con el objetivo de clasificar estas probabilidades en percentiles con categorías de igual tamaño se ajustaron estos valores a una distribución normal y el resultado se multiplicó por 100 para expresarlas en porcentaje. Dado que se tienen cinco categorías de clasificación de la probabilidad de la sequía, entonces cada rango de percentil obedece al 20%. Ver Figura 12.17 y cuadro 1.

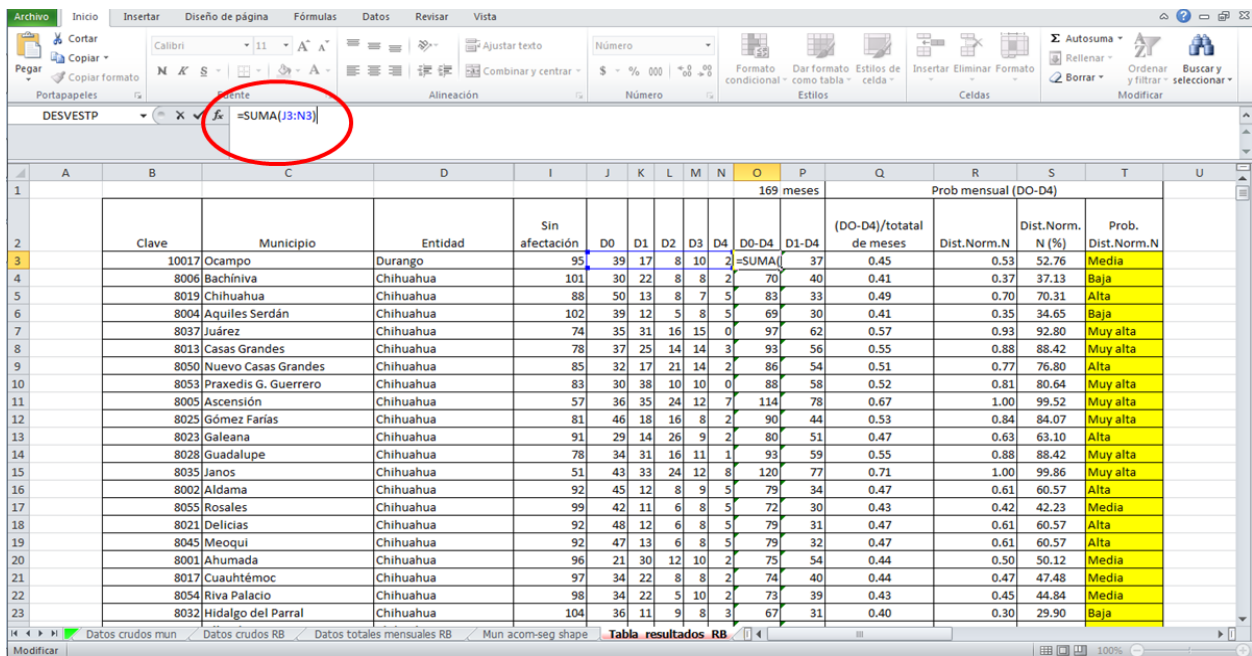


Figura 12.16. Cálculo de la frecuencia relativa de cada categoría de sequía, ajuste a la distribución normal y clasificación de la probabilidad.
Fuente: elaboración propia.

Cuadro 1. Categorías para clasificar la probabilidad de las diferentes categorías de sequía.

Clasificación de la probabilidad	Valor del percentil
Muy baja	$0 < I_{vi} \leq 20$
Baja	$20 < I_{vi} \leq 40$
Media	$40 < I_{vi} \leq 60$
Alta	$60 < I_{vi} \leq 80$
Muy alta	$80 < I_{vi} \leq 100$

Fuente: elaboración propia.

12.2.1 Resultados

Con la información obtenida se elaboraron los porcentajes envolventes y desagregados como se muestra en el **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** cuadro 2 donde se observa el periodo del 31 de diciembre del 2010 al 31 de diciembre del 2013, en el cual en los meses de abril-junio el porcentaje de D4 se incrementó de 6.72% al 68.66% (ver el cuadro completo en el Anexo 1, con registros desde el 31 de enero del 2003 al 31 de marzo del 2017). En el cuadro 3 se observan los resultados del porcentaje de área con sequías en el Organismo de Cuenca Río Bravo, donde la sequía moderada fue del 10.78% en los 169 meses registrados. Con respecto al porcentaje de área con sequía por estado se observa que Tamaulipas tuvo un porcentaje mayor de sequía extrema con respecto a los demás estados con 11.46 % de área afectada (cuadro 4). Finalmente, en el cuadro 5 se observa que Chihuahua fue la entidad con mayor número de municipios afectados por la sequía excepcional con un total de 192 municipios.

Cuadro 2. Porcentajes de D1-D4 desagregados y envolventes de la cuenca del río Bravo (31 de diciembre del 2010 al 31 de diciembre del 2013).

Mes-Año	Desagregados %				Envolventes %				
	D1	D2	D3	D4	Sin afectación	D0-D4	D1-D4	D2-D4	D3-D4
31-dic-10	23.13	11.19	2.24	0.00	26.12	73.88	36.57	13.43	2.24
31-ene-11	13.43	10.45	0.75	0.00	26.12	73.88	24.63	11.19	0.75
28-feb-11	21.64	15.67	1.49	0.00	38.81	61.19	38.81	17.16	1.49
31-mar-11	0.00	31.34	68.66	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00	68.66
30-abr-11	0.00	0.00	93.28	6.72	0.00	100.00	100.00	100.00	100.00
31-may-11	0.00	0.00	88.06	11.94	0.00	100.00	100.00	100.00	100.00
30-jun-11	0.00	0.00	31.34	68.66	0.00	100.00	100.00	100.00	100.00
31-jul-11	0.75	39.55	23.13	33.58	0.00	100.00	97.01	96.27	56.72
31-ago-11	3.73	5.22	75.37	15.67	0.00	100.00	100.00	96.27	91.04
30-sep-11	0.75	17.91	61.94	19.40	0.00	100.00	100.00	99.25	81.34
31-oct-11	0.75	7.46	55.97	35.82	0.00	100.00	100.00	99.25	91.79
30-nov-11	0.75	8.96	64.18	26.12	0.00	100.00	100.00	99.25	90.30
31-dic-11	1.49	19.40	67.16	11.94	0.00	100.00	100.00	98.51	79.10
31-ene-12	8.21	25.37	55.97	10.45	0.00	100.00	100.00	91.79	66.42
29-feb-12	15.67	33.58	43.28	4.48	0.00	100.00	97.01	81.34	47.76
31-mar-12	19.40	32.84	22.39	1.49	2.99	97.01	76.12	56.72	23.88

30-abr-12	24.63	35.07	15.67	1.49	2.99	97.01	76.87	52.24	17.16
31-may-12	22.39	35.07	5.97	0.00	14.18	85.82	63.43	41.04	5.97
30-jun-12	26.87	35.82	1.49	0.00	22.39	77.61	64.18	37.31	1.49
31-jul-12	41.04	18.66	0.00	0.00	15.67	84.33	59.70	18.66	0.00
31-ago-12	35.07	11.94	1.49	0.00	11.19	88.81	48.51	13.43	1.49
30-sep-12	44.03	4.48	3.73	0.00	9.70	90.30	52.24	8.21	3.73
31-oct-12	35.82	5.97	2.99	0.00	23.88	76.12	44.78	8.96	2.99
30-nov-12	36.57	13.43	2.99	0.00	17.16	82.84	52.99	16.42	2.99
31-dic-12	30.60	14.93	2.99	0.00	18.66	81.34	48.51	17.91	2.99
31-ene-13	32.09	17.16	4.48	0.00	21.64	78.36	53.73	21.64	4.48
28-feb-13	23.88	13.43	17.16	0.00	21.64	78.36	54.48	30.60	17.16
31-mar-13	23.13	8.21	13.43	5.97	34.33	65.67	50.75	27.61	19.40
30-abr-13	19.40	11.94	14.18	4.48	29.10	70.90	50.00	30.60	18.66
31-may-13	19.40	13.43	6.72	0.75	24.63	75.37	40.30	20.90	7.46
30-jun-13	16.42	9.70	5.22	0.75	37.31	62.69	32.09	15.67	5.97
31-jul-13	12.69	8.21	4.48	0.75	58.21	41.79	26.12	13.43	5.22
31-ago-13	11.94	5.97	4.48	1.49	55.97	44.03	23.88	11.94	5.97
30-sep-13	7.46	0.00	0.75	0.00	69.40	30.60	8.21	0.75	0.75
31-oct-13	4.48	0.75	0.75	0.00	79.85	20.15	5.97	1.49	0.75
30-nov-13	1.49	1.49	0.00	0.00	88.81	11.19	2.99	1.49	0.00
31-dic-13	2.24	0.00	0.00	0.00	91.04	8.96	2.24	0.00	0.00

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 3. Porcentaje de área con sequía en el Organismo de Cuenca Río Bravo periodo del 31 de enero del 2003 al 31 de marzo del 2017.

Clave	Organismo de Cuenca	Porcentaje de área (%)							
		Sin afectación	D0	D1	D2	D3	D4		

VI	Río Bravo	56.17	18.84	10.78	5.94	6.51	1.76
----	-----------	-------	-------	-------	------	------	------

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 4. Porcentaje de área con sequía en las entidades federativas que se encuentran dentro de la cuenca del río Bravo (31 de enero del 2003 al 31 de marzo del 2017)

Entidad	Porcentaje de área (%)					
	Sin afectación	D0	D1	D2	D3	D4
Chihuahua	54.59	20.51	11.44	6.02	5.29	2.16
Coahuila	53.24	16.76	13.05	6.65	7.16	3.15
Durango	55.56	22.81	9.94	4.68	5.85	1.17
Nuevo León	62.84	17.72	8.24	4.59	6.42	0.18
Tamaulipas	44.91	20.53	11.52	9.18	11.46	2.40

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 5. Número de municipios con sequía dentro de la cuenca del río Bravo (31 de enero del 2003 al 31 de marzo del 2017)

Clave	Entidad	D0	D1	D2	D3	D4	Municipios con sequía (D1-D4)	% de municipios con sequía respecto al total del estado
6	Chihuahua	1,824	1,017	535	470	192	2,214	24.90
8	Coahuila	831	647	330	355	156	1,488	30.01
10	Durango	39	17	8	10	2	37	21.64
19	Nuevo León	1,273	592	330	461	13	1,396	19.44
28	Tamaulipas	351	197	157	196	41	591	34.56

	Total	4,318	2,470	1,360	1,492	404	5,726	26.11
--	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	------------	--------------	--------------

Fuente: elaboración propia.

Finalmente, se elaboró en ArcGis el mapa de probabilidad de ocurrencia de sequía a escala municipal en la cuenca del río Bravo, tomando en cuenta la envolvente D1-D4, tal como se ilustra en la figura 8.

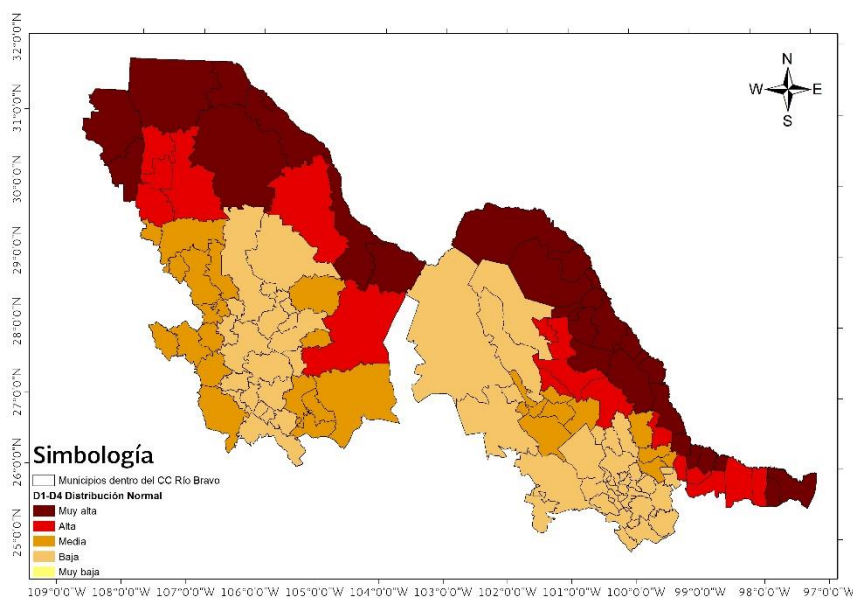


Figura 12.17. Mapa de probabilidad de ocurrencia de sequía a escala municipal en la cuenca del río Bravo.

Fuente: elaboración propia.

13. PROPUESTA DE UNA POLÍTICA NACIONAL PARA LA GESTIÓN DE LAS AGUAS TRANSFRONTERIZAS

13.1 PRINCIPALES PROBLEMAS QUE EXISTEN EN LA REGIÓN.

La Región VI Frontera Norte, se caracteriza por las bajas precipitaciones pluviales prácticamente en toda su superficie, por lo que puede considerarse como una región más bien seca, con características de aridez en un porcentaje importante de sus tierras.

Como consecuencia de las escasas lluvias, la red hidrográfica de la región, a pesar de su gran longitud, presenta escurrimientos pequeños en volumen y concentrados durante el verano, en comparación con la gran extensión superficial de la zona.

Esta situación se ve agravada por la presencia periódica de fenómenos de sequías extremas, que reducen la precipitación y los escurrimientos a la mitad de los promedios anuales, dañando las actividades económicas de la región. Otro tipo de fenómenos son las heladas que se presentan cada año y que inciden negativamente en la producción agrícola de las distintas subregiones.

En otros períodos, los fenómenos hidrometeorológicos extremos conducen a la ocurrencia de grandes avenidas en la red hidrográfica, que producen inundaciones en algunas partes de la región insuficientemente protegidas a través de presas de control de avenidas o bien mediante la rectificación y encauzamiento de los ríos, especialmente cuando estos escurrimientos se derivan de la presencia de ciclones en el Golfo de México que inciden en la costa norte de nuestro país, o bien ante la presencia de nevadas en las partes altas de la Sierra Madre Occidental que ocasionan escurrimientos importantes durante los deshielos.

Las escasas precipitaciones pluviales limitan la adecuada y suficiente recarga de los acuíferos ya sean de carácter granular o bien de formaciones calizas que prevalecen en la región, los cuales constituyen uno de los factores importantes para el desarrollo de las actividades industriales, urbanas, agrícolas y pecuarias, por tratarse en general de aguas de buena calidad y con mínimos costos para su potabilización.

Las limitaciones en la disponibilidad anual de aguas superficiales y subterráneas prácticamente en todas las subregiones, se ve agravada por los problemas de la contaminación puntual y extendida, ocasionada por las descargas sin tratamiento de un número importante de centros urbanos y desarrollos industriales, además de las descargas provenientes de aguas de retorno agrícola de los Distritos de Riego y de las Unidades de Riego de menor superficie.

La contaminación de las corrientes superficiales y de los cuerpos receptores de las aguas residuales en toda la región es importante, lo cual se observa en la clasificación de las corrientes mediante los Índices de Calidad del Agua, que por lo general pueden establecerse entre inaceptables, fuertemente contaminadas y contaminadas, por lo que con toda seguridad se están presentando problemas de salud en los usuarios de las aguas de dichas corrientes y de impacto ambiental en las subregiones que sufren esos problemas.

En algunos casos prevalecen en los cuerpos receptores las aguas sin tratamiento de centros de población con escasa o nula industria, por lo que las descargas provienen casi en su totalidad de los usos domésticos o bien de actividades comerciales y de servicios públicos, por lo que el tipo de contaminación es fundamentalmente de tipo orgánico, con niveles altos para la Demanda Bioquímica de Oxígeno, lo cual puede conducir a problemas de enfermedades gastrointestinales de origen hídrico en las poblaciones que utilizan dichas aguas río abajo, por el alto contenido de patógenos en los efluentes.

En otros cuerpos receptores se descargan aguas residuales sin tratamiento, pero de origen industrial, en cuyo caso los problemas son de mayor gravedad, sobre todo ante la presencia de productos químicos de varios tipos, incluyendo los metales pesados, que provocan problemas de salud irreversibles y limitan su aprovechamiento para usos agrícolas y pecuarios.

La región, que hasta hace pocas décadas, aproximadamente a mediados del siglo XX, presentaba características socioeconómicas vinculadas fundamentalmente con las actividades agrícolas, pecuarias y mineras, ha venido evolucionando en una forma acelerada en su desarrollo, con una transformación también acelerada de su economía hacia las actividades comerciales e industriales. En 1950 el único polo de desarrollo industrial que pudiera considerarse importante desde el punto de vista de los usos del agua y de los niveles de emisión

de contaminantes, era la ciudad de Monterrey, limitada a los contornos del municipio, sin convertirse aún en una zona conurbada que abarca varios municipios actualmente y con una industria más diversificada, consumidora de agua y emisora de mayores niveles de contaminantes en calidad y cantidad.

Actualmente la región, sin perder sus características socioeconómicas vinculadas con el desarrollo agrícola y pecuario, se ha diversificado en su totalidad, presentándose prácticamente en todas las subregiones un desarrollo industrial y comercial cuyas dimensiones son las que determinan el uso y aprovechamiento de los recursos hidráulicos, o bien lo limitan por sus características contaminantes.

Los principales usuarios de las aguas en la región, en volumen y gasto, continúan siendo los agrícolas, que consumen una parte importante de los recursos superficiales y subterráneos a través de los usos consuntivos de los cultivos. Otro usuario importante en volumen y gasto es el uso de generación de energía eléctrica, con dos tipos de usos, el de generación hidroeléctrica que prácticamente no es consumidor de agua en el sentido de que el recurso se pierda en los procesos de generación, pero que sí limita la disponibilidad de agua en el espacio y en el tiempo. En el espacio, porque obliga a mantener ciertos volúmenes disponibles en los embalses para utilizarlos en las plantas generadoras sin permitir su traslado aguas abajo en el momento en que lo requieren otro tipo de usuarios. En el tiempo, porque las necesidades de generación de energía a lo largo del año y durante las horas del día, no siempre coinciden con las necesidades por ejemplo de los agricultores que requieren la disponibilidad de las aguas en el momento en que los cultivos las demandan, lo que de alguna manera puede producir ineficiencias en el uso del recurso.

En el caso de la generación de energía eléctrica a través de plantas termoeléctricas, con cualquier tipo de combustible, existe un consumo de agua importante en volumen y en gasto, ya que se presenta la evaporación de las aguas durante los procesos de enfriamiento, con la consiguiente reducción de la disponibilidad aguas abajo. La Comisión Federal de Electricidad y los Productores Independientes de Energía, en algunos casos han incorporado tecnologías que reducen esas pérdidas de agua, pero es inevitable la reducción de un porcentaje importante de los volúmenes aprovechados por ese uso. Estas pérdidas son significativas, sobre todo considerando que el abastecimiento de agua para enfriamiento de las plantas termoeléctricas se produce fundamentalmente con aguas subterráneas, las cuales son muy apreciadas para todos los usos dentro de la región.

El tercer tipo de usuarios con una importancia creciente dentro de la zona, es el resto de los usos industriales, diferentes de la generación de energía eléctrica. Entre los más importantes se mencionan los productos alimenticios, bebidas, textiles, prendas de vestir, industria del cuero, industria maderera, papel y productos de papel, imprentas, sustancias químicas, derivados del petróleo y del carbón, productos de hule y plástico, productos minerales no metálicos, industrias metálicas básicas, vidrio, productos metálicos, maquinaria y equipo y otras industrias manufactureras.

Este tipo de usuarios, algunos de los cuales son grandes consumidores de agua y otros con efluentes de alto nivel de contenido de contaminantes, son los que desde el punto de vista del aprovechamiento y preservación de los recursos hidráulicos, tienen mayor trascendencia y los cuales deben evolucionar hacia un uso más eficiente de las aguas claras dentro de sus instalaciones, con un empleo creciente de las aguas residuales debidamente tratadas para su reutilización dentro de la industria y finalmente sometidas a un proceso de carácter técnico, jurídico y administrativo que las induzca a tratar totalmente sus efluentes para cumplir con las

condiciones particulares de descarga, si sus efluentes descargan a cuerpos federales o bien con las normas municipales si sus descargas llegan a las redes municipales y con ello a las plantas de tratamiento que deben construirse en dichas poblaciones.

Este fenómeno de competencia por los usos del agua se presenta en forma generalizada prácticamente en todas las subregiones de la Región Frontera Norte.

Por lo que se refiere a las aguas subterráneas, en la región se identificaron 61 acuíferos en explotación, los cuales están vinculados con los polos de desarrollo urbano-industrial o bien con la agricultura de riego. En términos generales todos esos acuíferos, con contadas excepciones, tienen extracciones de la misma magnitud que la recarga y en algunos casos presentan condiciones de sobreexplotación, ya sea en todo el acuífero o bien en algunas zonas localizadas dentro de ellos, en donde la alta concentración de pozos ha inducido abatimientos acelerados, con la doble consecuencia de la extracción del agua de profundidades que para ciertos cultivos ya no son rentables, o bien el deterioro de la calidad de las aguas subterráneas al extraer aguas fósiles con altos contenidos de salinidad no aptas para los cultivos y en ocasiones tampoco para el abastecimiento de las zonas urbanas.

Es evidente que los distintos usuarios, sobre todo los de carácter urbano e industrial, prefieren la utilización de aguas subterráneas sobre las superficiales, ya que para su consumo, las primeras, las de los acuíferos, requieren solamente de un proceso de cloración que es bastante económico y para las industrias ni siquiera se requiere del proceso de desinfección para las aguas utilizadas en sus procesos, mientras que el aprovechamiento de las aguas superficiales de los ríos casi siempre requiere de un proceso de potabilización consistente en la clarificación y desinfección de las aguas de los ríos, cuyo costo es bastante mayor que el de las aguas subterráneas, incluyendo la necesidad de inversiones iniciales cuantiosas en la construcción de plantas potabilizadoras, así como sus costos de operación y mantenimiento y la necesidad de contar con personal especializado para el correcto funcionamiento de los procesos.

13.1.1 Factores que han contribuido a la situación actual de oferta y demanda.

La evolución histórica de las actividades de los habitantes de la región es el principal factor que ha contribuido a la situación actual de la oferta y la demanda del agua en la región.

Los ríos en sus condiciones vírgenes, antes de que se construyeran las presas en la región, escurrían libremente y a partir de esos flujos se desarrollaban las actividades humanas relacionadas con el recurso, aprovechando el agua de las corrientes para fines agrícolas en forma sencilla, a base de barrajes para desviar el agua y aplicarla a pequeñas superficies de riego en las vegas de los ríos, situación que presentaba limitaciones importantes debido a que el escurrimiento en época de estiaje se veía reducido por las características propias de la región, en donde las lluvias son principalmente en el verano. De la misma manera se desarrollaba una ganadería extensiva a base del abrevadero sobre las márgenes de las corrientes o en los almacenamientos naturales o los pequeños agujeros que se fueron construyendo con estos propósitos.

En cuanto a las actividades urbanas, la historia nos indica que los principales centros de población en la región se establecieron en las cercanías de manantiales u ojos de agua, o bien de corrientes superficiales de carácter permanente, en donde a través de pozos indios se captaba el agua para la satisfacción de las necesidades principalmente domésticas, comerciales y en menor medida de una industria de pequeñas dimensiones orientada principalmente a la satisfacción de las necesidades locales.

Hasta el siglo XIX el aprovechamiento de las aguas subterráneas se limitaba a la captación y conducción de manantiales y fue hasta el siglo XX cuando se inició la perforación de pozos para su aprovechamiento, con la introducción de motobombas de combustión interna y posteriormente de alimentación eléctrica.

Fue hasta el inicio de las políticas de desarrollo de la infraestructura de riego, en las primeras décadas de este siglo, especialmente a partir de la década de los treinta, cuando se inició la construcción de importantes obras de almacenamiento de las aguas superficiales y el impulso a la explotación de las aguas subterráneas para la producción agrícola. Parte importante de esta política fue la firma del Tratado Internacional con los Estados Unidos de América, sobre límites y aguas, a partir del cual se garantizó una disponibilidad para el territorio mexicano en función de la aportación relativa de las cuencas de cada país. Dicho tratado, en su última versión data del año de 1944, por lo que prácticamente los aprovechamientos más importantes del lado mexicano fueron construidos entre 1943 y 1993 para regular las aguas del río Bravo y del río San Juan.

Los análisis hidrológicos realizados permiten constatar que el sistema de contabilidad del agua quinquenal, establecido para dar cumplimiento a las entregas de agua entre los dos países, es suficientemente flexible y permite a México disminuir las presiones asociadas a épocas de escasez por los bajos escurrimientos derivados de las sequías periódicas.

Estos factores son los que hasta la fecha han influido en forma determinante en la oferta del agua en la región, regulando los escurrimientos más importantes para poder estar en condiciones de aprovechar los grandes volúmenes que se depositaban en el Golfo de México sin ninguna utilización, destinándose ahora al riego de grandes superficies agrícolas y a la generación de energía hidroeléctrica principalmente. Otro beneficio importante ha sido el control de avenidas logrado con las capacidades destinadas de las grandes presas de la región a ese propósito, gracias a lo cual se han reducido notablemente las inundaciones que en algunos años resultaron catastróficas, especialmente en la cuenca baja del río Bravo, con importantes afectaciones a la producción agrícola y con riesgos para las poblaciones ribereñas en ambos países.

La oferta actual de aguas subterráneas presenta condiciones especiales cercanas al punto de equilibrio en la mayor parte de los acuíferos y en algunos de ellos se ha llegado a la sobreexplotación. Las posibilidades de contar con una oferta suficiente para la evolución de las demandas en el futuro es muy pequeña, ya que estas aguas son las más demandadas para usos urbanos e industriales y establecen competencia con los usos agrícolas, especialmente en donde dichas actividades conviven, por encontrarse las zonas de riego cerca de los centros urbano-industriales. Aunque existe la posibilidad de la recarga artificial inducida de los acuíferos ya sea con aguas de lluvia o bien con aguas residuales tratadas, hasta la fecha no se ha explorado a fondo esta posibilidad que permitiría incrementar la oferta cerca de los grandes centros urbanos, aunque con limitaciones de carácter técnico y económico.

Con esta evolución histórica se ha llegado a la situación actual de distribución de la oferta y la demanda para cada una de las actividades que requieren del uso del agua.

A partir de la población actual y de las tendencias demográficas, se han hecho determinaciones sobre el crecimiento de la población y correlacionada con ella, de las actividades industriales y otras actividades que requieren del aprovechamiento del recurso.

Probablemente en donde podrían presentarse dificultades para el abastecimiento por el crecimiento poblacional, sería específicamente en urbes como Monterrey, Saltillo y Ciudad

Juárez, entre otras, debido a que la disponibilidad de aguas subterráneas de fuentes cercanas está prácticamente cancelada por la sobreexplotación de los acuíferos o bien por el deterioro de la calidad de dichas aguas por salinidad, lo que obligaría al aprovechamiento de aguas subterráneas o superficiales captadas y conducidas desde subregiones alejadas, con el consiguiente problema de inconformidad de los habitantes de esas zonas, quienes querrán asegurar su abastecimiento y aprovechamiento futuro para todos los usos posibles antes de permitir la conducción de dichas aguas, o bien se tendría que optar por la transferencia de derechos entre usuarios de diferentes aplicaciones, lo que además de los problemas de negociación tendría el impacto del costo para los habitantes de dichas urbes.

Las industrias establecidas dentro de las ciudades de la región Frontera Norte seguramente se irán incrementando en número, solicitando el servicio municipal a los organismos operadores locales, incluyendo el de alcantarillado sanitario. Es recomendable que las autoridades estatales y municipales de la región, dentro de sus Planes de Desarrollo Urbano municipal, establezcan políticas claramente definidas para permitir solamente el establecimiento de industrias de bajo consumo de agua, como pueden ser algunas industrias de diferentes ramas manufactureras, en particular la industria maquiladora. En términos generales este tipo de industria puede quedar abastecido con el caudal destinado al abastecimiento de las poblaciones, considerado dentro de la dotación per cápita que se mencionó en el capítulo correspondiente, de la cual los usos industriales y comerciales no deben rebasar una participación que oscila entre el 15 y el 20% de dicha dotación, con lo cual no es necesario llevar a cabo proyecciones específicas de la dotación de agua para fines industriales dentro de los centros de población, considerándose incluida dentro de los 8 o 9 m³/s antes mencionados. Sin embargo, si las autoridades locales permiten el establecimiento de industrias de altos o medianos consumos de agua, dentro de las zonas urbanas vinculadas a las redes de abastecimiento municipales, se recomienda que se lleven a cabo estudios específicos del impacto que pudieran tener dichas demandas en el abastecimiento a la ciudad, que condujeran a investigaciones de carácter técnico y económico para su satisfacción particular.

Caso diferente es el de las industrias que solicitarán de la Comisión Nacional del Agua el concesionamiento de aguas superficiales o subterráneas para su aprovechamiento razonablemente distante de las zonas urbanas, lo que significa que en un período de cuando menos 25 años no se verán incorporadas dentro de la zona urbana del o los municipios. En ese caso no existen estudios ni planes desarrollados actualmente por las autoridades estatales o municipales de las diferentes entidades federativas de la región Frontera Norte, por lo que no pueden hacerse predicciones precisas del crecimiento de la demanda de aguas superficiales y subterráneas. Sin embargo, es recomendable el desarrollo de estrategias y políticas preestablecidas entre la autoridad nacional del agua (la CONAGUA) y cada una de las autoridades estatales y en su caso municipales, para que la solicitud para el establecimiento de cualquier tipo de industria, ya sea de bajo o de alto consumo de agua, fuera de las zonas urbanas, sea estudiada conjuntamente, no sólo desde el punto de vista de las bondades que pudiera tener para el desarrollo económico local y regional, sino considerando las posibilidades del concesionamiento de aguas superficiales o subterráneas sin llegar a la sobreexplotación de los acuíferos y sin afectar los balances hidráulicos de aguas superficiales que pudieran lesionar los intereses de otros usuarios aguas abajo del sitio pretendido para el establecimiento de dichas industrias.

En el caso de las proyecciones de la industria generadora de energía eléctrica, la Comisión Federal de Electricidad tiene una planeación razonablemente desarrollada para el establecimiento de nuevas centrales de generación térmica en la región, por lo que dentro de

los balances futuros de carácter hidráulico ya han sido consideradas en forma suficiente para tener la certeza de su factibilidad de abastecimiento. Sin embargo, deberá intensificarse la coordinación continua con esta entidad paraestatal del Gobierno Federal, para lograr un uso más intensivo de las aguas residuales debidamente tratadas de ciudades cercanas, además de acelerar los procesos de modernización tecnológica de las centrales actuales y futuras para el establecimiento de procesos de enfriamiento de las plantas menos consumidores de agua a base de la mayor recirculación posible.

Las proyecciones de los usos futuros del agua en la región para fines de desarrollo agrícola, presentan limitaciones importantes en todas las cuencas hidrológicas de cada subregión. Existen algunos distritos de riego en los cuales el agua disponible no es suficiente para cubrir todas las demandas de un riego pleno para las superficies actualmente dominadas por las obras, aún en las mejores condiciones de precipitación pluvial, como es el caso de los Distritos de Riego del Bajo Río Bravo y del Bajo Río San Juan, situación que se torna más desbalanceada entre la oferta y la demanda cuando se presentan condiciones de sequía, de las que periódicamente afectan a la región. Por lo anterior, puede afirmarse que las posibilidades de ampliación de la frontera agrícola con aguas superficiales, es prácticamente nula a pesar de que existan tierras con buenas características agronómicas para el desarrollo de cultivos de mediana y alta rentabilidad. Para el caso de la posibilidad de contar con superficies adicionales de riego con aguas subterráneas, como se plantea en el capítulo correspondiente al tema, existen algunos volúmenes disponibles en pocos acuíferos de la región, por lo que la factibilidad de ampliar las superficies de riego con esas aguas depende de factores de carácter económico como el costo de inversión, para el establecimiento de la infraestructura necesaria, la calidad de los suelos y características de los mercados y procesos de comercialización en la región. Algunos de estos acuíferos con disponibilidad deben considerarse desde ahora como posibles fuentes de abastecimiento para centros de población y para desarrollos industriales, los primeros debido a que el uso urbano y en especial el doméstico es prioritario sobre otro tipo de usos y los segundos porque los desarrollos industriales generan mayor bienestar en la población debido a la creación de empleos mejor remunerados que los que se derivan de las actividades agrícolas y pecuarias.

En cuanto a las demandas futuras para consumos de tipo pecuario, por los pequeños volúmenes que se consumen en dichas actividades, no se considera que puedan incidir en forma importante en los balances hidráulicos futuros en las diferentes cuencas de la región.

13.2 REÚSO DEL AGUA

Para estimar los volúmenes de agua que se utilizan, el uso del que proviene el agua, el uso al que se destina el agua tratada y el tipo de tratamiento que se emplea, se utilizó la información correspondiente a los sistemas de tratamiento existentes en la región. De cada serie de datos del inventario de descargas, plantas de tratamiento municipales e industriales, se seleccionaron aquellas que tienen como reúso los conceptos: riego de áreas verdes, agricultura e industriales, incluyendo la estimación de los volúmenes de agua que se utilizan, el uso del que proviene el agua, el uso al que se destina el agua tratada y el tipo de tratamiento que se emplea, analizando los problemas técnicos y económicos de estos procedimientos; asimismo, se mencionarán los riesgos que pueden existir para la salud u otros.

Con esta información relativa al reúso del agua se están evaluando, las características las aguas residuales tratadas, identificando el tipo de tratamiento empleado, así como las

eficiencias observadas en cada planta para alcanzar la calidad suficiente y que el reúso no implique riesgos a la salud de los usuarios y al ambiente.

Con la investigación documental de los sistemas de tratamiento existentes en la región VI se identifican las operaciones unitarias y procesos que se consideran técnicamente factibles para la remoción de los contaminantes, principalmente cargas orgánicas y de sólidos, principales fuentes de riesgo a la salud y el ambiente por la práctica del reúso del agua tratada, por provocar turbidez al agua y el consecuente rechazo de los usuarios potenciales para el riego de áreas verdes y usos sanitarios, con contacto directo de humanos.

Además porque los materiales suspendidos de las aguas residuales tienen contenidos de huevecillos de helmintos y al usarse en el riego de áreas verdes y usos sanitarios con contacto directo de humanos, se incrementa la probabilidad de riesgos a la salud y porque el agua tiene una alta demanda de cloro, por lo que se requeriría una alta dosificación del mismo, antes de proporcionarle un cloro residual adecuado para su reúso.

En resumen los métodos empleados para el tratamiento son: Primario, Secundario, Lodos activados, Aireación extendida, Zanjas de oxidación, Lagunas de oxidación, Lagunas aireadas, Laguna de estabilización, Lagunas de evaporación, Lagunas de sedimentación, filtros biológicos, discos biológicos, Anaerobio - Aerobio, Reactor Anaerobio, Reactor anaerobio de flujo ascendente Tanque Imhoff, Físicoquímico y biológico, Coagulación - floculación, Físico - químico, Químico, Enzimas vegetales, Precipitación de sólidos suspendidos, Filtración - presión - aireación, Flotación con aire disuelto; algunos de ellos muy similares pero citados con otras nomenclaturas.

Estos procesos son, en primera instancia, los fisicoquímicos y los biológicos. Es importante mencionar que para el caso del reúso del agua en la industria, esta acción depende del giro de la empresa y el proceso fabril o actividad al cual se aplique el agua tratada.

Cabe hacer notar que se discriminó la información contenida en los renglones en donde la planta no opera por alguna causa, cuando la descarga de agua tratada se descarga a cuerpos de agua (aún cuando el agua puede ser reutilizada aguas abajo) y cuando la columna del destino del agua tratada no mostraba ninguna anotación.

A continuación se muestra la información resultante para plantas de tratamiento de aguas residuales de origen municipal, después de la selección

Subregión	Municipio	GASTO DE DISEÑO	GASTO DE OPERACION	CUERPO RECEPTOR O REÚSO	
		(L/s)	(L/s)		
34	Subregión hidrológica 34				
34	GALEANA	20.0	12	A. CALABACILLAS	CUERPO RECEPTOR
34	NUEVO CASAS GRANDES		4	RIEGO	CLUB CAMP. CASAS
24A	Subregión Hidrológica 24A				
		30.0	30	RIEGO	CLUB CAMP. CHIH.
24A	JUAREZ	-	6	RIEGO	CLUB CAMP. JUAREZ
24A	CHIHUAHUA	-	5	RIEGO	CLUB CAMP. SAN FCO.
24A	ALLENDE	50.0	50	ARROYO MIRELES	CUERPO RECEPTOR
24A	OCAMPO	21.4	9.6	RIO FLORIDO	CUERPO RECEPTOR
		12.0	4	TERRENO NATURAL	CUERPO RECEPTOR
		8.0	5	RIO FLORIDO	CUERPO RECEPTOR
24A	ALDAMA	40.0	40	INFILTRACION	CUERPO RECEPTOR
		1200.0	600	RIO SACRAMENTO	CUERPO RECEPTOR
24A	OJINAGA	60.0	50	RIO BRAVO	CUERPO RECEPTOR
24B	Subregión Hidrológica 24B				
24B	ACUÑA	148.0	150	ARROYO Y RIO	CUERPO RECEPTOR
24C	Subregión Hidrológica 24C				
24C	LAMPAZOS DE NARANJO	10.0	5	INFILTRACION	CUERPO RECEPTOR
24C	ESCOBEDO	2500.0	1500	RIO PESQUERIA	CUERPO RECEPTOR
24C	MONCLOVA	170.0	120	REÚSO INDUSTRIAL	A.H.M.S.A.
24C	SAN JUAN DE SABINAS	100.0	42		DESCONOCIDO
24D	Subregión Hidrológica 24D				
24D	ANAHUAC	5.0	5	INFILTRACION	CUERPO RECEPTOR
24D	MIER	60.0	17.45	RIO ALAMO	CUERPO RECEPTOR
24D	NUEVO LAREDO	1360.0	800.00	ARROYO EL COYOTE	CUERPO RECEPTOR
24D	PIEDRAS NEGRAS	150.0	250	RIO BRAVO	CUERPO RECEPTOR
24D	ALLENDE	50.0	50	ARROYO MIRELES	CUERPO RECEPTOR
24E	Subregión Hidrológica 24E				
24E	AGUALEGUAS	50.0	8	RIO AGUALEGUAS	CUERPO RECEPTOR
24E	GENERAL TREVIÑO	10.0	6	RIO SOSA	CUERPO RECEPTOR
24F	Subregión Hidrológica 24F				
24F	<u>SALTILLO (ZCS)</u>	50.0	50	REÚSO RECREATIVO	CLUB CAMPESTRE
24F	APODACA (ZCM)	500.0	480	A. TOPOCHICO	CUERPO RECEPTOR
24F	CADEREYTA JIMENEZ	60.0	60	RIO STA. CATARINA	CUERPO RECEPTOR
		5.0	3	INFILTRACION	CUERPO RECEPTOR
24F	CARMEN	20.0	5	RIO SALINAS	CUERPO RECEPTOR
24F	GARCIA	10.0	8	RIO PESQUERIA	CUERPO RECEPTOR
24F	GENERAL TERAN	15.0	15	INFILTRACION	CUERPO RECEPTOR
24F	MONTEMORELOS	75.0	75	RIO PILON	CUERPO RECEPTOR
24F	PESQUERIA (ZCM)	10.0	2	RIO PESQUERIA	CUERPO RECEPTOR
		6.0	2	RIO PESQUERIA	CUERPO RECEPTOR
		5000.0	3500	RIO PESQUERIA	CUERPO RECEPTOR
24F	RAMONES, LOS	10.0	2	RIO PESQUERIA	CUERPO RECEPTOR
24F	HIDALGO	50.0	8	RIO SALINAS	CUERPO RECEPTOR

Subregión	Municipio	GASTO DE DISEÑO	GASTO DE OPERACION	CUERPO RECEPTOR O REÚSO	
		(L/s)	(L/s)		
24F	JUAREZ	58.0	58		DESCONOCIDO
24F	CERRALVO	15.0	12	RIEGO AGRICOLA	RIEGO
24F	MARIN	50.0	8	RIEGO AGRICOLA	RIEGO
24F	MELCHOR OCAMPO	10.0	2	RIEGO AGRICOLA	RIEGO
24F	SANTIAGO	140.0	75	RIEGO AREAS VERDES	RIEGO
24G	Subregión Hidrológica 24G				
24G	CAMARGO	20.0	16.27	SUBSUELO	CUERPO RECEPTOR
24G	GUSTAVO DIAZ ORDAZ	55.0	21.00	SUBSUELO	CUERPO RECEPTOR
24G	MIGUEL ALEMAN	140.0	60.10	ARROYO SAN PEDRO	CUERPO RECEPTOR
24G	REYNOSA	800.0	715.00	DREN ANHELO - RB	CUERPO RECEPTOR
24G	RIO BRAVO	14.0	20.28	RIO BRAVO	CUERPO RECEPTOR

Subregión	Caudal total	Caudal de reúso	Caudal a cuerpo receptor
	l/s	l/s	l/s
TOTAL REGIÓN VI	8,967.00	312.00	8,655.00
Subregión Hidrológica 34	16.00	4.00	12.00
Subregión Hidrológica 24A	800.00	41.00	758.60
Subregión Hidrológica 24B	150.00	0	150.00
Subregión Hidrológica 24C	1,667.00	120.00	1547.00
Subregión Hidrológica 24D	1,122.00	0	1,122.45
Subregión Hidrológica 24E	14.00	0	14.00
Subregión Hidrológica 24F	4,365.00	147.00	4,218.00
Subregión Hidrológica 24G	833.00	0	832.65

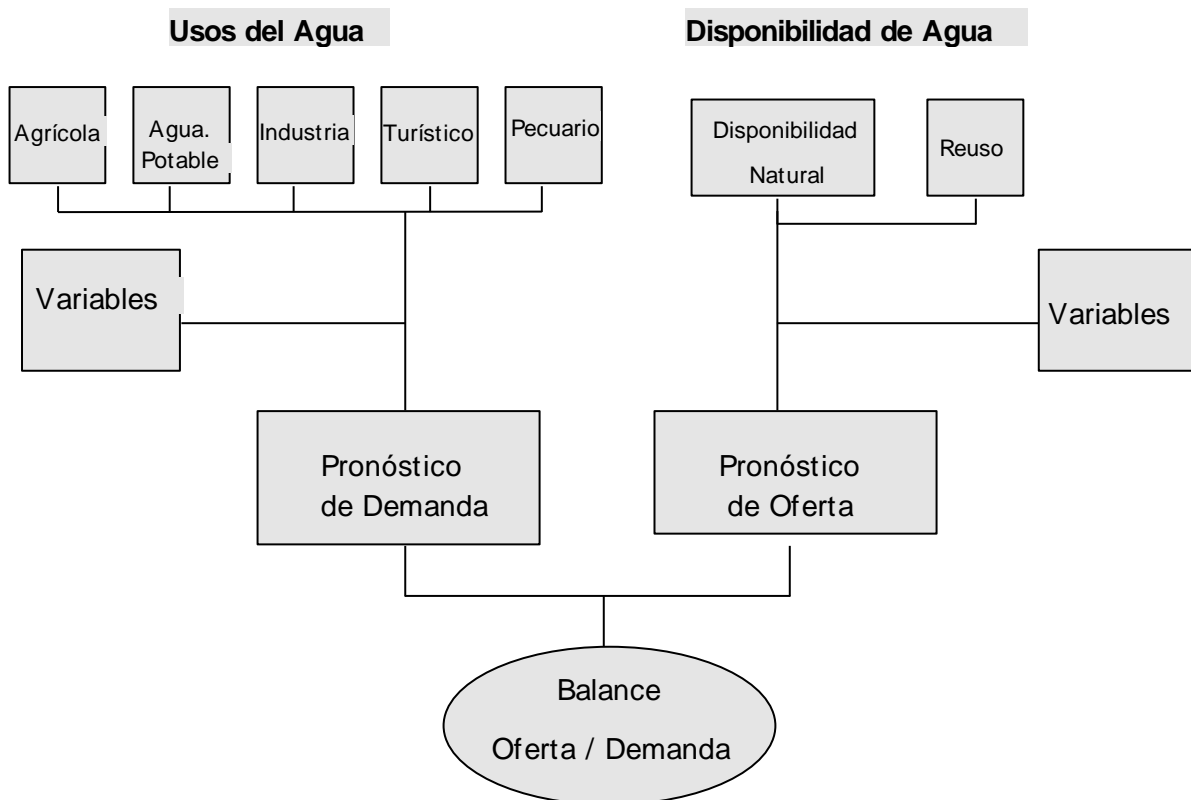
13.2.1 Metodología General

Para efectos de la construcción de escenarios, se elaboró un modelo de cálculo que permitiera simular, de manera separada, los diferentes usos consuntivos del agua de la región, a partir de las variables clave que para cada uno interviniesen. Asimismo, se consideró la disponibilidad actual a nivel estatal y regional, a partir del análisis realizado por cuencas y que se encuentra en la sección de balance hidráulico del presente estudio.

La herramienta de cálculo cuenta con la posibilidad de simular sensibilidades ante cambios en las variables seleccionadas, lo cual permite la construcción de diferentes escenarios futuros.




La construcción del modelo se estructura a partir de tres componentes principales: Pronóstico de Demanda, Pronóstico de oferta y Balance Oferta - Demanda, tal y como se ilustra en la siguiente gráfica.

ESQUEMA CONCEPTUAL DEL MODELO DE ESCENARIOS



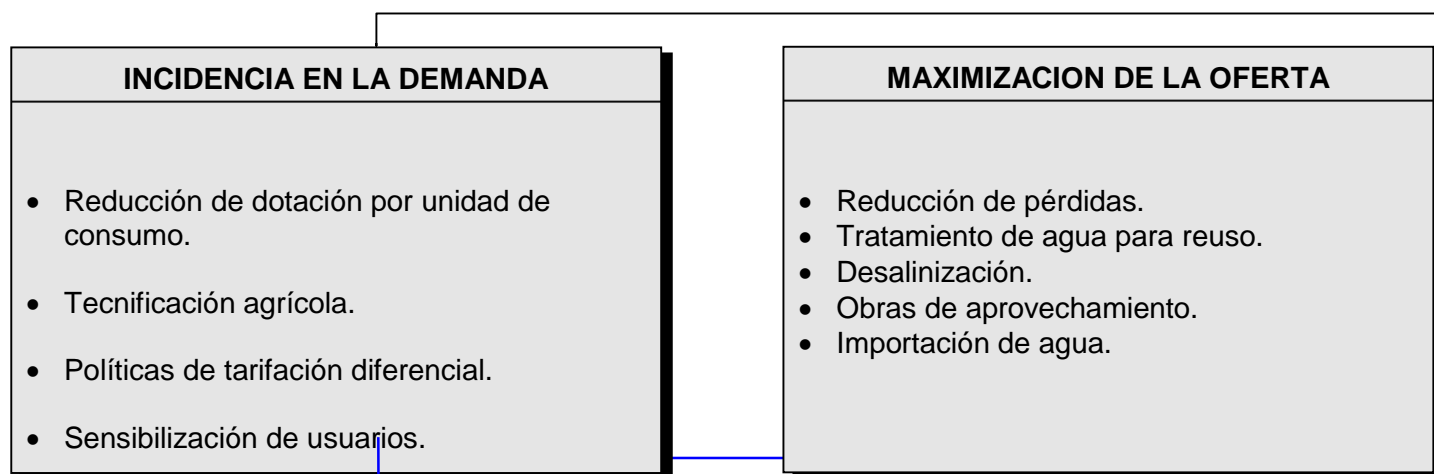
13.3 CONSTRUCCIÓN DE ESCENARIOS

Una vez estructurada la metodología de evaluación de escenarios, se procedió, con base en lo dispuesto en los términos de referencia, a la construcción de tres escenarios básicos, los cuales se describen a continuación.

ESCENARIO PROPUESTO	DESCRIPCION
 Ante ausencia de acciones	Se consideran las tendencias de crecimiento de los diferentes usos del agua, así como la situación actual en cuanto a los parámetros de consumo y eficiencia.
 Acciones mínimas	Se incorporan las acciones correctivas que puedan mejorar el uso eficiente del agua
 Acciones óptimas para el desarrollo sustentable.	Se consideran las acciones que permitan reconocer una perspectiva adecuada para el desarrollo sustentable en el largo plazo.

13.4 IDENTIFICACIÓN DE ACCIONES

Se identificaron una serie de acciones que tuvieran incidencia tanto para la demanda como para la oferta incluyendo de manera genérica las que a continuación se señalan.



ACCIONES QUE INCIDEN EN LA DEMANDA

Para cada acción identificada se definieron inicialmente los impactos que se esperaba obtener sobre la demanda de usos del agua, cuál sería el uso principal sobre el cual incidiría, así como una conceptualización de cuál sería una metodología posible para su cálculo y posterior incorporación al modelo de simulación de escenarios.

En este primer ejercicio se establecieron los criterios e hipótesis para la estimación del impacto de cada curso de acción.

En las siguientes tablas se señalan las consideraciones iniciales para cada acción identificada.

Acciones que Inciden en la Demanda

ACCIONES	IMPACTOS	USO	FORMULACION/CALCULO
Incremento Tarifas	<ul style="list-style-type: none"> Reducción del consumo (dotación) Usuario paga costo real del bien 	Doméstico Industrial (Agua Potable)	<ul style="list-style-type: none"> Ejercicio de elasticidad precio consumo a relación al consumo de agua. Se estima el impacto del incremento de la tarifa sobre el volumen consumido. En este sentido se prueban distintas sensibilidades en cuanto a la reducción del volumen abastecido y su implicación en el aumento de la tarifa, siempre dentro de rangos permisibles según la caracterización socioeconómica de la población.
Programas de Sensibilización	<ul style="list-style-type: none"> Incide en la conducta sobre el uso razonable y eficiente del recurso y promueve la utilización de métodos de ahorro 	Principalmente usos urbanos.	<ul style="list-style-type: none"> Revisión de programas y experiencias internacionales que indiquen el nivel de ahorro generado por estos programas y su impacto en la dotación por habitante. Se encontró que rangos entre el 5% y 10% son alcanzables con campañas agresivas.

Acciones que Inciden en la Demanda (Continuación)

ACCIONES	IMPACTOS	USO	FORMULACION / CÁLCULO
Cambio de Cultivos	<ul style="list-style-type: none"> Mayor eficiencia en el uso del agua, derivado de la selección de cultivos de mayor rendimiento económico y menor consumo de agua 	Agricultura	<ul style="list-style-type: none"> Análisis de la mezcla actual de cultivos y sus rendimientos económicos y láminas de agua promedio. Análisis propositivo de mezcla óptima que maximice el aprovechamiento de la tierra de riego disponible y reduzca el nivel de consumo Se estimó una reducción del volumen abastecido con un rango del 8% - 20%¹
Tecnificación agrícola	<ul style="list-style-type: none"> Mayor eficiencia en el uso del agua lo que implica : Misma superficie regada con menos consumo de agua Más superficie regada con la misma agua 	Agricultura	<ul style="list-style-type: none"> Comparación entre láminas de agua requeridas por tipo de cultivo utilizando métodos tradicionales contra cultivos con métodos tecnificados Estimación del diferencial en cuanto a ahorro de agua por ha regada por cultivo.

Acciones que Inciden en la Demanda (Continuación)

ACCIONES	IMPACTOS	USO	CONSIDERACION
Restricción del crecimiento de la frontera agrícola	<ul style="list-style-type: none"> • Incide directamente en la dinámica de crecimiento del principal usuario del agua 	Agricultura	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis de sensibilidad ante políticas de estabilidad, control y restricción. • Se observa una disminución drástica de más del 30% en el volumen que se deberá de abastecer entre un escenario de tendencia y uno restrictivo¹
Establecimiento de un Mercado de Derechos de Agua	<ul style="list-style-type: none"> • Se tendería a que los usuarios que puedan pagar más por el uso del agua puedan adquirir los derechos de otros usuarios bajo mecanismos de mercado • Propiciar un sistema justo y eficiente para que el mercado decida cuál es el mejor uso del agua. 	Todos	<ul style="list-style-type: none"> • Esta acción pudiera llegar a ser la que, de manera natural, tienda a equilibrar la oferta con la demanda. • Para ello será importante el establecimiento de un marco normativo y económico que permita que el mercado actúe libremente.

Acciones que Tiendan a Maximizar la Oferta

De manera similar se definieron inicialmente los impactos que se esperaba obtener con la aplicación de acciones que tiendan a maximizar la disponibilidad del recurso hidráulico, la cual sería una metodología posible para su cálculo y posterior incorporación al modelo de simulación de escenarios.

De igual manera es importante señalar que aun cuando de manera inicial se establezcan los criterios para la estimación del impacto de cada acción, no en todos los casos se puedan cuantificar, por falta de información, o por complejidad en el análisis.

En las siguientes tablas se señalan las consideraciones iniciales para cada acción identificada.

¹ El escenario tendencia sería aquel que considere el incremento histórico de 4 000 ha por año, mientras que el restrictivo no permitiría incremento alguno.

Acciones que Tiendan a Maximizar la Oferta

ACCIONES	IMPACTOS	USO	FORMULACION/CALCULO
Reducción de Pérdidas	<ul style="list-style-type: none"> Optimizar el uso del agua disponible Reducción en el abastecimiento vía ahorro de agua perdida. 	Todos En especial Agua Potable	<ul style="list-style-type: none"> En el cálculo de dotación se considera actualmente una pérdida por fugas. Revisar/identificar pérdidas del sistema de agua potable Proponer niveles de reducción factibles en el tiempo. Estimación del ahorro del agua
Obras de aprovechamiento	<ul style="list-style-type: none"> Posibilita el aprovechamiento de fuentes aún no reguladas Incrementa el nivel de agua regulada Impacto localizado en zonas donde no existe obras 	Según el Uso de la zona analizada.	<ul style="list-style-type: none"> Identificación de obras Cuantificación de gastos probables por escurrimientos/precipitación Cuantificación de volumen de regulación

Acciones que Tiendan a Maximizar la Oferta (Continuación)

ACCIONES	IMPACTOS	USO	FORMULACION/CALCULO
Inducción de Lluvias	<ul style="list-style-type: none"> Mitiga problemas de sequías Tiende a aumentar niveles de precipitación/infiltración/recarga de acuíferos Pudiera incidir en un menor uso de agua de riego Ayuda a Cultivos de Temporal 	Todos principalmente Agrícola	<ul style="list-style-type: none"> Según el "American Meteorological Society" existen reportes de un aumento

			en el promedio de precipitación de hasta un 10% derivado del sembrado de nubes ¹
Tratamiento y reúso de agua	<ul style="list-style-type: none"> Incrementar la capacidad de agua para reúso Substituye el uso de agua de fuentes naturales 	Industrial Turismo Agrícola	<ul style="list-style-type: none"> Este concepto tiene dos dimensiones principales; el volumen de agua tratada y el porcentaje correspondiente utilizada como reúso. En ambos casos se analiza la situación actual en la región y se proponen niveles razonables.

Acciones que Tiendan a Maximizar la Oferta (Continuación)

ACCIONES	IMPACTOS	USO	COMENTARIOS
Importación de agua	<ul style="list-style-type: none"> Incrementar el volumen de agua disponible vía la importación de otras cuencas. (Principalmente de EUA) 	Todos	<ul style="list-style-type: none"> Revisión de proyectos que pudieran permitir la importación de agua en el corto, mediano y largo plazo. Identificar los volúmenes posibles y su impacto en el incremento de disponibilidad en el tiempo.

¹ Balancing Water Demands with Supplies, Kenneth D. Frederick, World Bank Technical Paper No. 189, 1993

Lineamientos estratégicos

El presente sección tiene como objetivo el de proponer lineamientos estratégicos generales y apuntar cursos de acción posibles que permitan responder a la problemática detectada en el diagnóstico regional.

En este sentido se consideran fundamentales cinco temas sobre los cuales se discute con mayor detalle en las siguientes acciones:

1. Acciones que incidan en la demanda
2. Acciones que maximicen la oferta.
3. Tratados internacionales.
4. Fortalecimiento de sistemas de monitoreo.
5. Fortalecimiento institucional regional y local.

1. Acciones que incidan en la demanda

Para esta componente se propone:

- ***Adoptar esquemas más estrictos que incidan en la reducción de la dotación por habitante incluyendo***
 - La implementación de un sistema de medición completo por parte de los organismos operadores, el cual permitirá contar con mejores elementos para el control y seguimiento de los patrones de consumos del recurso, así como lograr una base más amplia para la recaudación
 - Revisión de esquemas tarifarios. En el corto plazo y como medida que induzca a un uso más eficiente del agua, vía precio, se deberá de revisar los niveles tarifarios de agua potable, sobre todo en ciudades donde claramente existe una dotación muy superior al del promedio regional. Esta revisión permitirá también lograr un incremento en los niveles de recaudación, lo cual es importante para poder fortalecer las finanzas de los organismos operadores posibilitándolos así a la asignación de mayores recursos a obras hidráulicas prioritarias.

Definición de una Nueva Política de Desarrollo Agrícola.

Dada la importancia que juega el uso agrícola como principal usuario del agua, y a ante la presión que se anticipa para su desarrollo futuro, es cada vez más necesario un replanteamiento del papel que debiera tener el sector agrícola en la región.

Para ello será conveniente analizar y evaluar esquemas que ayuden a la conformación de una nueva política que adecue, por un lado, los requerimientos socioeconómicos derivados de esta importante actividad, con las realidades en cuanto a la disponibilidad del recurso hidráulico. Esto estudios deberán de enfocarse a preguntas tales como,

- ¿Qué impactos socioeconómicos se anticiparían ante un cambio en la estructura económica de la región?
- ¿Cual deberá de ser el papel de la agricultura a nivel regional en el largo plazo, a la luz de desarrollo nacional y global?
- ¿Cuál debe ser la política en cuanto a la ampliación de la frontera agrícola, sus restricciones e impactos?

- ¿Qué mecanismos debieran facilitarse para la correcta adecuación de cultivos con la vocación de la tierra y la dinámica de los mercados interno, nacional e internacional?

Como parte del curso de acción sobre este tema será importante propiciar la reflexión y trabajo conjunto de las diversas instancias que inciden en el desarrollo del sector, incluyendo desde luego a la SAGAR, CONAGUA, Banco de Desarrollo Rural, Gobiernos Estatales y a las asociaciones de agricultores.

Desarrollo agrícola tecnificado.

Independientemente de las agendas económicas a nivel estatal y regional, es impostergable la tecnificación del campo en la región para lo cual se deben proseguir con los proyectos de:

- Dotación volumétrica en los distritos de riego, acotando por una parte, el volumen abastecido a cada usuario, y motivando por otras, a un mejor aprovechamiento del agua disponible.
- Cambio de cultivos tendientes a un mejor aprovechamiento del recurso (tanto del agua como de la tierra) y una mayor rendimiento económico, de acuerdo con la vocación de suelo y bajo el entendimiento claro del mercado del producto en cada caso.
- Implementación de reglas y restricciones como parte de una política de desarrollo agrícola, donde se permita el Incremento de la superficie de riego solo bajo sistemas tecnificados* o mediante la utilización de agua tratada.

Instrumentación de mecanismos para un mercado regulado del agua.

Este pudiera ser el elemento clave para fomentar el equilibrio en el balance oferta demanda hidráulico., dada la situación de escasez del recurso y en donde la demanda es quien decide cual es el mejor uso para el agua vía mecanismos de mercado. Sin embargo se debe fomentar un Marco normativo para garantizar el registro y transparencia de las transacciones, así como permitir una adecuación con respecto a las políticas de desarrollo local y regional y el bienestar de la sociedad, sobre todo de los sectores más desfavorecidos.

El sistema de riego por goteo permite una reducción en la lámina de riego de hasta un 40%.

Dicha normatividad deberá de ser lo suficientemente flexible para permitir la creación de nuevas estructuras de mercado que puedan transferir la disponibilidad del recurso, como pudiera ser bolsas para la venta o renta de derechos, o la creación de Bancos de agua como existen ya en otras partes del mundo, particularmente en el Sur de California.

13.4.1 Descripción del modelo utilizado.

Demanda.

Para efectos del ejercicio se considera como demanda, el volumen total abastecido para fines de usos consuntivos. En este sentido, el criterio abarca la demanda real del líquido por cada uso, más las pérdidas que por concepto de distribución y conducción existiesen.

Se elaboraron los pronósticos para cada uso de manera independiente, determinándose para cada caso las variables relevantes de simulación. La tabla siguiente ilustra los usos analizados con las variables escogidas en cada caso.

USOS DEL SUELO Y VARIABLES UTILIZADAS EN EL PRONOSTICO (Continúa)

Usos del Agua	Variables consideradas en el pronóstico
Agua Potable	<ul style="list-style-type: none"> • Población Total (Hab) • Población Urbana y Rural (% del total) • Cobertura de Agua potable (%) • Dotación diaria por habitante (L.H.D.) • Nivel de pérdidas (%)
Agrícola	<ul style="list-style-type: none"> • Superficie Sembrada (Ha) • Distribución entre cultivos cíclicos y perenes (Ha) • Superficie regada (%) • Lámina Bruta promedio (cm)

Usos del Agua	VARIABLES consideradas en el pronóstico
Ganadero	<ul style="list-style-type: none"> • Población pecuaria (No de cabezas) • Distribución por tipo de ganado (cabezas) • Consumo promedio (lt/cabeza/año)
Industrial	<ul style="list-style-type: none"> • Personal ocupado en sector manufacturero • Personal ocupado en maquiladoras • Personal ocupado en sector minero • Dotación promedio (lt/empleador/ día)
Turístico	<ul style="list-style-type: none"> • Visitantes totales • Distribución por destinos principales • Estadía promedio • Consumo (Lt/Visitantes/día.)
Generación de Energía Eléctrica	<ul style="list-style-type: none"> • SE considera el volumen actual utilizado, y no se prevé incrementos a futuro por la utilización de tecnologías de enfriamiento seco o con la utilización de agua de mar.
Acuacultura	<ul style="list-style-type: none"> • Al ser principalmente de tipo extensivo, se considera que su uso no es consuntivo.
Medio Natural	<ul style="list-style-type: none"> • Estimación del caudal ecológico del Río Bravo (análisis independiente de sensibilidad).

**USOS DEL SUELO Y VARIABLES UTILIZADAS EN EL PRONOSTICO
(Continuación)**

Fuente: Análisis FOA Consultores.

Oferta.

Para el pronóstico de la oferta se considera la disponibilidad natural estimada para las cuencas principales de la región, la cual se agrega en subtotales a nivel de entidad federativa. Estas cifras consideran el cálculo de los escurrimientos vírgenes, escurrimientos aguas arriba, recarga total, evaporación, y utilización de agua de reuso.

13.5 ACCIONES QUE MAXIMICEN LA OFERTA

Reforzar programas de reducción de pérdidas físicas.

Se deberán de redoblar esfuerzos para la instrumentación y cumplimiento de los programas actuales de reducción de pérdidas físicas.

Implementar programas de conservación del agua

Revisar legislación para la adopción de equipos de conservación de agua para uso doméstico, comercial e industrial, principalmente. Revisar y adoptar nuevas tecnologías de conservación en regaderas, lavabos e inodoros.

Fortalecer la Infraestructura Hidráulica de la Región.

- Sistema de acueductos de la Zona Norte. Uno de los problemas críticos de la región es el suministro actual y futuro del asentamiento urbano Mexicali-Tecate-Tijuana-Rosarito-Ensenada. En este sentido es fundamental el seguimiento de los programas actuales para la construcción del sistema integral de acueductos para la región.
- Es también fundamental, el contar con un plan de contingencia que permita prever fuentes alternas en la conducción del recurso, previendo fallas en el sistema.

Evaluación y seguimiento a proyectos de control de avenidas y recarga. Será muy importante la revisión, evaluación y priorización de los proyectos detectados en la actualidad para obras de captación, control de avenidas y recarga inducida de acuíferos. Asimismo, será fundamental el análisis de posibles esquemas y fuentes de financiamiento del programa en el tiempo.

Programa de inducción de lluvias.

Identificar las zonas más propicias para la implantación de este programa, mediante el aprovechamiento de experiencias previas como las realizadas en el Programa de Inducción de Lluvias de Coahuila.

Propiciar una mayor reutilización del agua.

Analizar un esquema de Incentivos de precios que motiven el reuso del agua.

Aprovechamiento de aguas tratadas de planta binacional. Será importante revisar los mecanismos que permitan la utilización de las aguas tratada de la nueva planta, una vez establecida su operación continua. Para ello será necesario revisar los aspectos técnicos, legales y políticos correspondientes.

- Fomentar acciones tendientes a la recarga de acuíferos.
- Acciones para el mejoramiento de la calidad del agua.

- Tratados Internacionales

Analizar esquemas creativos para la importación de agua.

El tema de la importación de aguas con EUA debe tener un análisis continuo y detallado, donde, no obstante los obstáculos legales y de competencia por el agua, es necesario el estudiar continuamente esquemas y proyectos que pudieran implicar transferencia del recurso hacia México. Ejemplos de estos proyectos pudieran ser:

- Presa para captar avenidas extraordinarias del Río Bravo y aprovechamiento de derechos de agua de particulares.

Programas de cooperación binacional para el mejoramiento del medio natural y la calidad del agua en la zona fronteriza.

Fortalecimiento de Sistemas de Monitoreo

- Programa de rehabilitación y sistematización de estaciones existentes, sobre todo de piezometría e hidrometría.
- Incorporar apoyo de instituciones educativas y de investigación para recabar y mantener la información.

Fortalecimiento Institucional, Regional y Local

- Como primer paso es fundamental la definición de una estructura apropiada para la región que refleje las condicionantes geográficas y de la problemática puntual del agua. Esta estructura podría reflejar una fortaleza relativamente alta a nivel de comités de cuenca con un consejo regional de apoyo administrativo y de gestión.
- Apoyo en la formación de asociaciones de usuarios
- Establecimiento de un proceso de planeación-concertación a nivel local.
- Promover el fortalecimiento institucional de organismos operadores, utilizando programas y recursos de institucional multilaterales de financiamiento.
- Establecer mayor vinculación con la sociedad a través de programas agresivos de concientización a todos los niveles.

13.6 RELACION DE ACCIONES, IMPLICACIONES Y CORRESPONSABILIDAD

Finalmente se presenta en las siguientes tablas, un resumen de las acciones propuestas para los movimientos estratégicos, señalando implicaciones y comentarios relevantes, así como los agentes corresponsables de su implementación y/o seguimiento.

ACCIONES QUE INCIDEN SOBRE LA DEMANDA

Acciones	Implicaciones / Comentarios	Corresponsabilidad
Reducción de Dotación de Agua Potable		
– Revisión de Esquemas tarifarios	<ul style="list-style-type: none"> Vinculación de la tarifa con las inversiones requeridas en ampliación y rehabilitación de la red de agua potable, obras de saneamiento, así como obras de conducción desde nuevas fuentes de aprovechamiento. Tarificación diferencial por nivel de consumo y por tipo de uso. 	CONAGUA, Organismos. Operadores
– Completar sistema de micromedición	<ul style="list-style-type: none"> Abatimiento de rezago actual Programa eficaz de instalación acorde con dinámica de crecimiento urbano Concesión de operación y comercialización a privados. 	Organismos. Operadores Part. Privada.
Desarrollo Agrícola Moderno		
– Definición de nueva política agrícola	<ul style="list-style-type: none"> Proceso de análisis y reflexión con miras a una solución de largo plazo. Concertación de instancias involucradas Evaluación de impactos socioeconómicos / desarrollo regional Algunos temas: política sobre la frontera agrícola, papel del sector primario en la economía regional, política sobre Distritos de Riego. 	CNA, SAGAR, Gob. Estatales, Asoc. De Agricultores, Distritos de Riego.
– Programa de dotación volumétrica en Distritos de Riego	<ul style="list-style-type: none"> Adecuación al marco legal sobre derechos del agua Definición de las dotaciones Negociación y concertación con asociaciones de agricultores 	CONAGUA, Distritos de Riego, Asoc. De usuarios de riego.
– Programas de cambio de cultivo	<ul style="list-style-type: none"> Selección de cultivos de bajo consumo de agua y alto rendimiento económico. Entendimiento y seguimiento de la dinámica de los mercados nacional e internacional de cultivos propuestos. Proceso de transición 	SAGAR Universidades Participación privada
– Tecnificación Agrícola <ul style="list-style-type: none"> – Riego por goteo – Aspersión – Microaspersión 	<ul style="list-style-type: none"> Concluir transferencia de Distritos de Riego Requiere de inversión y costos de mantenimiento Financiamiento de Programas Federales Fomentar cooperación agricultores / investigadores. 	CONAGUA Distritos de Riego Asoc. de usuarios de riego

		Universidades.
Instrumentación de un mecanismo detallado para regular el mercado del agua.	<ul style="list-style-type: none"> Fortalecer sistema de registro de las transacciones que permita actualización continua, así como contar con banco de datos históricos. Adecuación del marco normativo actual que permita nuevas estructuras flexibles para la transferencia del recurso (venta / renta de derechos, bancos de agua, etc.) Vinculación sistemática con el REPDA 	CONAGUA (Jurídico)

ACCIONES QUE MAXIMIZAN LA OFERTA

Acciones	Implicaciones / Comentarios	Corresponsabilidad
Reforzar programas de reducción de pérdidas físicas	<ul style="list-style-type: none"> Vinculado a programas de rehabilitación y mantenimiento de la red de agua potable Mejoramiento de velocidad de respuesta para reparación de fugas. 	Organismos. Operadores
Implementación de programas de conservación del agua	<ul style="list-style-type: none"> Adopción de tecnologías de uso de agua eficiente (todos los usos) Cambio de patrones de uso del agua Programas de concientización, reglamentación y/o educación 	CONAGUA Gov. Estatales y Municipales Organismos. Operadores
Fortalecimiento de Infraestructura Hidráulica de la Región	<ul style="list-style-type: none"> Apoyo a programas de dotación de agua potable a comunidades rurales 	CONAGUA Organismos. Operadores
Programa de Inducción de Lluvias	<ul style="list-style-type: none"> Identificación de zonas propicias para la implantación del programa y su vinculación con zonas de aprovechamiento del recurso. 	CONAGUA SAGAR
Propiciar una mayor reutilización del agua	<ul style="list-style-type: none"> Incrementar niveles de tratamiento (volumen y calidad) Evaluación de proyectos para el suministro de agua tratada Análisis de esquemas que permitan financiamiento (subsidiados cruzado del sistema de agua potable, proyectos integrales planta de tratamiento - sistema de distribución) Reglamentación en cuanto al tratamiento y reuso del agua para nuevos desarrollos (turísticos, industriales, etc.) 	Organismos. Operadores Participación Privada
Fomentar acciones tendientes a la recarga de acuíferos	<ul style="list-style-type: none"> Construcción de infraestructura para almacenamiento subterráneo (presas subterráneas) Seguimiento a proyectos de presas y bordos para recarga Utilización de agua tratada para recarga 	CONAGUA Organismos. Operadores
Acciones para el mejoramiento de la calidad del agua	<ul style="list-style-type: none"> Revisión de los sistemas de medición de la calidad del agua Instalación de Plantas de Tratamiento Saneamiento de aguas del Río Bravo Fortalecer redes de monitoreo de calidad del agua a lo largo del Río Bravo y sus afluentes 	CONAGUA

TRATADOS INTERNACIONALES

Acciones	Implicaciones / Comentarios	Corresponsabilidad
Análisis de esquemas creativos para la importación de agua	<ul style="list-style-type: none"> Análisis de factibilidad económica, legal y política de la construcción de presas en territorio de EUA para captar avenidas extraordinarias del Río Bravo y /o caudales con derechos de agua de particulares estadounidenses Estudio de proyectos de largo alcance para planeación de largo plazo 	CILA CONAGUA
Programas de cooperación binacional para el mejoramiento del medio natural y la calidad del agua en la zona fronteriza	<ul style="list-style-type: none"> Coordinación y participación en programas de investigación y conferencias en ambos lados de la frontera (COLEF, Univ. De California - US MEXUS). 	Instituciones Académicas y de Investigación CONAGUA

FORTALECIMIENTO DE SISTEMAS DE MONITOREO E INFORMACIÓN

Acciones	Implicaciones / Comentarios	Corresponsabilidad
Programa de rehabilitación, sistematización y mantenimiento de estaciones existentes	<ul style="list-style-type: none"> Diseño ejecutivo del sistema de redes de monitoreo sobre todo de estaciones piezométricas e hidrométricas Coordinación con instituciones educativas y de investigación para recopilación de la información y sistematización (servicio social, becarios, etc.) Mayor coordinación con el CILA para contar con información oportuna de estaciones bajo su responsabilidad. 	CONAGUA, CILA Universidades e Institutos de Investigación
Homogeneización de información de usos del agua	<ul style="list-style-type: none"> Estandarización de claves y registro de usuarios del agua tanto en el REPDA como en estadísticas de organismos operadores. 	CONAGUA Organismos. Operadores

FORTALECIMIENTO INSTITUCIONAL REGIONAL Y LOCAL

Acciones	Implicaciones / Comentarios	Corresponsabilidad
Gestión de Consejos de cuenca	<ul style="list-style-type: none"> Definición de estructura apropiada para la Región 1 Apoyo a la formación de asociaciones de usuarios Acercamiento y divulgación de la problemática del agua. Proceso de planeación - concentración a nivel local (comités de cuencas) 	CONAGUA Asociación de Usuarios Gov. Locales

Fortalecimiento de Organismos Operadores	<ul style="list-style-type: none"> Gestión de apoyo técnico y crediticio de organismos multilaterales de financiamiento (COCEF / BANDAN, BID, Banco Mundial) Aprovechar experiencia de Organismo Operador de Tijuana. 	CONAGUA Organismos. Operadores
Promover mayor participación social	<ul style="list-style-type: none"> Fortalecimiento a programas de concientización a todos los niveles educativos 	CONAGUA Organismos. Operadores Gob. Municipales Medios de Comunicación Sistema Educativo

Para el caso de la Cuenca del Río Bravo y sus acuíferos se identificaron las siguientes matrices de estrategias

Tabla 11.1 PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE SEQUÍA EN LA CUENCA DEL RÍO BRAVO POR ACUÍFERO.

Muy Alta	Alta	Media	Baja	Muy Baja
Valle de Juárez	Bajo Río Conchos	Sabinas - Parás	Tabaloapa - Aldama	Villalba
Valle del Peso	Región Carbonífera	Potrero del Llano	Chihuahua – Sacramento	Aldama – San Diego
Alamo – Chapo	-	Bocoyna	Alto Río – San Pedro	Valle de Zaragoza
Manuel Benavides	-	-	Carichi – Nonoava	Paredón
Cerro Colorado – La Partida	-	-	San Felipe de Jesús	Campo Mina
Presa La Amistad	-	-	Parral – Valle del Verano	El Carmen – Salinas Victoria
Palestina	-	-	Meoqui - Delicias	Campo Topo Chico
Allende – Piedras Negras	-	-	Santa Fe del Pino	Área Metropolitana de Monterrey
Hidalgo	-	-	Cuatrociénegas	Campo Durazno
Lampazos - Anáhuac	-	-	Lámpazos – Villaldama	Campo Buenos Aires
Bajo Río Bravo	-	-	Castaños	Cañón del Huajuco
-	-	-	Campo Cerritos	Citrícola Norte
-	-	-	Campo Papagayos	China – General Bravo
-	-	-	Campo Jaritas	-

Tabla 11.2 Vulnerabilidad ambiental por acuífero

Muy Alta	Alta	Media		Baja	Muy Baja
Valle de Juárez	Alamo – Chapo	Valle del Peso	Serranía del Burro	Castaños	Campo Jaritas
Aldama – San Diego	Paredón	Bajo Río Conchos	Monclova	Campo Mina	Lampazos – Villadama
Tabaloapa – Aldama	Saltillo – Ramos Arizpe	Potrero del Llano	Cuatrociénegas	-	-
Villalba	Región Manzanera – Zapalíname	Meoqui – Delicias	Región Carbonífera	-	-
Carichi – Nonoava	Campo Durazno	Alto Río San Pedro	Allende – Piedras Negras	-	-
China – General Bravo	-	San Felipe de Jesús	Lampazos - Anáhuac	-	-
Palestina	-	Bocoyna	Bajo Río Bravo	-	-
-	-	Valle de Zaragoza	Agualeguas - Ramones	-	-
-	-	Parral – Valle del Verano	Sabinas – Parás	-	-
-	-	Manuel Benavides	Área Metropolitana de Monterrey	-	-
-	-	Santa Fe del Pino	Campo Buenos Aires	-	-
-	-	Cerro Colorado – La Partida	Cañón del Huajuco	-	-
-	-	General Cepeda - Saucedá	Citrícola Norte	-	-
-	-	Cañón del Derramadero	-	-	-

Tabla 11.3 Vulnerabilidad Social por acuífero

Muy Alta	Alta	Media	Baja	Muy Baja
Valle del Peso ^(1/2)	Alamo – Chapo ^(1/2)	Valle de Juárez ^(1/2)	Meoqui – Delicias	Valle del Peso ^(1/2)
Bajo Río Conchos ^(1/2)	Presas La Amistad	Chihuahua – Sacramento	Jiménez – Camargo	Serranía del Burro ^(1/2)
Alamo – Chapo ^(1/2)	Tabaloapa - Aldama	Alto Río San Pedro ^(1/2)	Potrero del Llano	El Carmen – Salinas Victoria
Aldama – San Diego ^(1/2)	Cerro Colorado – la Partida	Santa Fe del Pino	Monclova	Campo Topo Chico
Región Manzanera – Zapaliname	Serranía del Burro ^(1/2)	Palestina	Citrícola Norte	Área Metropolitana de Monterrey
Bocoyna	Saltillo – Ramos Arizpe	Lampazos - Anáhuac	Paredón	-
San Felipe de Jesús	China – General Bravo	Cañón del Derramadero	Bajo Río Conchos ^(1/2)	-
-	Agualeguas - Ramones	Campo Mina	-	-
-	Campo Durazno	Campo Jaritas	-	-
-	Lampazos – Villaldama ^(1/2)	Castaños	-	-
-	Alto Río San Pedro ^(1/2)	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-

Tabla 11.4. Estrategias para los acuíferos del estado de Coahuila.

Id	Acuífero	1		2			3		4		5
		1.1	1.4	2.1	2.3	2.7	3.1	3.2	4.1	4.3	5.1
4	Allende-Piedras Negras	*	*	*	*	*	*		*	*	*
18	Cañón del Derramadero	*	*	*	*		*	*	*	*	*
21	Castañeros	*	*	*	*		*		*	*	*
22	Cerro Colorado-La partida	*	*	*	*		*		*	*	*
26	Cuatrociénegas	*	*	*	*		*		*	*	*
28	General Cepeda-Sauceda	*	*	*	*	*	*		*	*	*
29	Hidalgo	*	*	*	*	*	*		*	*	*
35	Monclova	*	*	*	*		*	*	*	*	*
36	Palestina	*	*	*	*	*	*		*	*	*
37	Paredón	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
40	Presas la Amistad	*	*	*	*	*	*		*	*	*
42	Región Carbonífera	*	*	*	*	*	*		*	*	*
43	Región Manzanera-Zapaliname	*	*	*	*		*	*	*	*	*
45	Saltillo-Ramos Arizpe	*	*	*	*		*	*	*	*	*
47	Santa Fe del Pino	*	*	*	*	*	*		*	*	*
48	Serranía del Burro	*	*	*	*		*		*	*	*

	Acciones prioritarias
1) Consolidar un sistema integral de medición de los diferentes componentes del ciclo hidrológico	1. Mantener las estaciones hidroclimatológicas convencionales y automáticas en operación 4. Instrumentar pozos de monitoreo y mantener las redes piezométricas en operación
2) Actualizar la disponibilidad de agua en las cuencas del Río Bravo, Colorado y Tijuana	1. Actualizar la disponibilidad de las cuencas del Río 3. Consolidar el uso eficiente del agua en todas las actividades productivas 7. Restauración de cuerpos de agua y valoración de servicios ambientales
3) Mantener la disponibilidad de las aguas nacionales para todos los usos	1. Realizar balances hidrológicos integrales (aguas superficiales-aguas subterráneas) para satisfacer la demanda de agua 2. Recargar artificialmente los acuíferos sobreexplotados con agua residual tratada y agua en exceso.
4) Elevar la rentabilidad económica y social del agua	1. Identificar y proponer zonas de reserva de agua 3. Depurar la información del REPDA para tener un valor real de los volúmenes concesionados
5) Rehabilitar la calidad del agua	1. Reducir descargas a cuerpos de agua

Tabla 11.5. Estrategias para los acuíferos del estado de Chihuahua.

Id	Acuífero	1		2			3		4		5
		1.1	1.4	2.1	2.3	2.7	3.1	3.2	4.1	4.3	5.1
2	Álamo Chapo	*	*	*	*		*		*	*	*
3	Aldama-San Diego	*	*	*	*		*		*	*	*
5	Alto Río San Pedro	*	*	*	*	*	*		*	*	*
8	Bajo Río Conchos	*	*	*	*	*	*		*	*	*
9	Bocoyna	*	*	*	*		*		*	*	*
20	Carichi-Nonoava	*	*	*	*		*		*	*	*
23	Chihuahua-Sacramento	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
30	Jiménez-Camargo	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
33	Manuel Benavides	*	*	*	*		*		*	*	*
34	Meoqui-Delicias	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
38	Parral-Valle del Verano	*	*	*	*	*	*		*	*	*
39	Potrero del Llano	*	*	*	*	*	*		*	*	*
46	San Felipe de Jesús	*	*	*	*		*	*	*	*	*
49	Tabalaopa-Aldama	*	*	*	*		*		*	*	*
51	Valle de Juárez	*	*	*	*		*	*	*	*	*
52	Valle de Zaragoza	*	*	*	*	*	*		*	*	*
53	Valle del Peso	*	*	*	*		*		*	*	*
54	Villalba	*	*	*	*	*	*		*	*	*

	Acciones prioritarias
1) Consolidar un sistema integral de medición de los diferentes componentes del ciclo hidrológico	1. Mantener las estaciones hidroclimatológicas convencionales y automáticas en operación 4. Instrumentar pozos de monitoreo y mantener las redes piezométricas en operación
2) Actualizar la disponibilidad de agua en las cuencas del Río Bravo, Colorado y Tijuana	1. Actualizar la disponibilidad de las cuencas del Río 3. Consolidar el uso eficiente del agua en todas las actividades productivas 7. Restauración de cuerpos de agua y valoración de servicios ambientales
3) Mantener la disponibilidad de las aguas nacionales para todos los usos	1. Realizar balances hidrológicos integrales (aguas superficiales-aguas subterráneas) para satisfacer la demanda de agua 2. Recargar artificialmente los acuíferos sobreexplotados con agua residual tratada y agua en exceso.
4) Elevar la rentabilidad económica y social del agua	1. Identificar y proponer zonas de reserva de agua 3. Depurar la información del REPDA para tener un valor real de los volúmenes concesionados
5) Rehabilitar la calidad del agua	1. Reducir descargas a cuerpos de agua

Tabla 11.6. Estrategias para los acuíferos del estado de Nuevo León.

Id	Clave Acuífero	1		2		3		4		5	
		1.1	1.4	2.1	2.3	2.7	3.1	3.2	4.1	4.3	5.1
1	Agualeguas-Ramones	•	•	•	•	•	•		•	•	•
6	Area Metropolitana de Monterrey	•	•	•	•		•	•	•	•	•
11	Campo Buenos Aires	•	•	•	•		•	•	•	•	•
12	Campo Cerritos	•	•	•	•		•		•	•	•
13	Campo Durazno	•	•	•	•		•	•	•	•	•
14	Campo Jaritas	•	•	•	•		•		•	•	•
15	Campo Mina	•	•	•	•		•	•	•	•	•
16	Campo Papagayos	•	•	•	•		•		•	•	•
17	Campo Topo Chico	•	•	•	•		•		•	•	•
19	Cañón del Huajuco	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
24	China - General Bravo	•	•	•	•	•	•		•	•	•
25	Citricola Norte	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
27	El Carmen-Salinas Victoria	•	•	•	•		•	•	•	•	•
31	Lampazos-Anahuac	•	•	•	•	•	•		•	•	•
32	Lampazos-Villa Aldama	•	•	•	•		•		•	•	•
44	Sabinas-Parás	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•

	Acciones prioritarias
1) Consolidar un sistema integral de medición de los diferentes componentes del ciclo hidrológico	1. Mantener las estaciones hidroclimatológicas convencionales y automáticas en operación 4. Instrumentar pozos de monitoreo y mantener las redes piezométricas en operación
2) Actualizar la disponibilidad de agua en las cuencas del Río Bravo, Colorado y Tijuana	1. Actualizar la disponibilidad de las cuencas del Río 3. Consolidar el uso eficiente del agua en todas las actividades productivas 7. Restauración de cuerpos de agua y valoración de servicios ambientales
3) Mantener la disponibilidad de las aguas nacionales para todos los usos	1. Realizar balances hidrológicos integrales (aguas superficiales-aguas subterráneas) para satisfacer la demanda de agua 2. Recargar artificialmente los acuíferos sobreexplotados con agua residual tratada y agua en exceso.
4) Elevar la rentabilidad económica y social del agua	1. Identificar y proponer zonas de reserva de agua 3. Depurar la información del REPDA para tener un valor real de los volúmenes concesionados
5) Rehabilitar la calidad del agua	1. Reducir descargas a cuerpos de agua

Tabla 11.7 Estrategias para los acuíferos del estados de Durango y Tamaulipas.

Id	Clave Acuífero	1		2			3		4		5
		1.1	1.4	2.1	2.3	2.7	3.1	3.2	4.1	4.3	5.1
10	Cabrera-Ocampo	•	•	•	•	•	•		•	•	•
41	Providencia	•	•	•	•		•		•	•	•
50	Torreón de Cañas	•	•	•	•		•		•	•	•

Id	Clave Acuífero	1		2			3		4		5
		1.1	1.4	2.1	2.3	2.7	3.1	3.2	4.1	4.3	5.1
7	Bajo Río Bravo	•	•	•	•	•	•		•	•	•

	Acciones prioritarias
1) Consolidar un sistema integral de medición de los diferentes componentes del ciclo hidrológico	1. Mantener las estaciones hidroclimatológicas convencionales y automáticas en operación 4. Instrumentar pozos de monitoreo y mantener las redes piezométricas en operación
2) Actualizar la disponibilidad de agua en las cuencas del Río Bravo, Colorado y Tijuana	1. Actualizar la disponibilidad de las cuencas del Río 3. Consolidar el uso eficiente del agua en todas las actividades productivas 7. Restauración de cuerpos de agua y valoración de servicios ambientales
3) Mantener la disponibilidad de las aguas nacionales para todos los usos	1. Realizar balances hidrológicos integrales (aguas superficiales-aguas subterráneas) para satisfacer la demanda de agua 2. Recargar artificialmente los acuíferos sobreexplotados con agua residual tratada y agua en exceso.
4) Elevar la rentabilidad económica y social del agua	1. Identificar y proponer zonas de reserva de agua 3. Depurar la información del REPDA para tener un valor real de los volúmenes concesionados
5) Rehabilitar la calidad del agua	1. Reducir descargas a cuerpos de agua

REFERENCIAS

Canadian Council of Ministers of the Environment. 2001. Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: CCME Water Quality Index 1.0, User's Manual.
CONAGUA 2017. Red Nacional de Monitoreo de Calidad del Agua. Gerencia de Calidad del Agua.

CONAGUA 2017. Sistema Nacional de Información del Agua. Plantas de Tratamiento de Agua residual, archivo "shape" 2016 de ArcGis.

CONAGUA, 2015. Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Allende Piedras Negras (0501), Estado de Coahuila.

CONAGUA, 2015. Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Aldama – San Diego (0836), Estado de Chihuahua.

CONAGUA, 2015. Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Bajo Río Bravo (2801), Estado de Tamaulipas.

CONAGUA, 2015. Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Cabrera - Ocampo (1008), Estado de Durango.

CONAGUA, 2015. Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Campo Mina (1908), Estado de Nuevo León.

CONAGUA, 2015. Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Castaños (0519), Estado de Coahuila.

CONAGUA, 2015. Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Cañón del Derramadero (0502), Estado de Coahuila.

CONAGUA, 2015. Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Cañón del Huajuco (1911), Estado de Nuevo León.

CONAGUA, 2015. Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Chihuahua - Sacramento (0830), Estado de Chihuahua.

CONAGUA, 2015. Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero El Carmen – Salinas - Victoria (1924), Estado de Nuevo León.

CONAGUA, 2015. Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero General Cepeda - Saucedo (0505), Estado de Coahuila.

CONAGUA, 2015. Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Meoqui - Delicias (0831), Estado de Chihuahua.

CONAGUA, 2015. Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Monclova (0507), Estado de Coahuila.

CONAGUA, 2015. Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Paredón (0508), Estado de Coahuila.

CONAGUA, 2015. Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Parral – Valle del Verano (0834), Estado de Chihuahua.

CONAGUA, 2015. Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Potrero del Llano (0841), Estado de Chihuahua.

CONAGUA, 2015. Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Providencia (1007), Estado de Durango.

CONAGUA, 2015. Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Región Carbonífera (0512), Estado de Coahuila.

CONAGUA, 2015. Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Saltillo – Ramos Arizpe (0510), Estado de Coahuila.

CONAGUA, 2015. Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Tabaloapa – Aldama (0835), Estado de Chihuahua.

CONAGUA, 2015. Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Villalba (0840), Estado de Chihuahua.

CONAGUA, 2015. Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Valle de Juárez (0833), Estado de Chihuahua.

Criterios Ecológicos de Calidad del Agua. CE-CCA-001/89. Acuerdo por el que se establecen los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua (D.O.F., 2 de Diciembre de 1989)

Gilbert O. Richard. 1987. Statistical Methods for environmental pollution monitoring. Van Nostrand Reinhold Company, New York. Pp. 334. ISBN 0-442-23050-8

<http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=plantasTratamiento>

INEGI 2017. Red Hidrográfica escala 1:50,000 edición 2.0

http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclnat/hidrologia/regiones_hidrograficas.aspx

Srinivasan, R., Ramanarayanan, T.S., Jayakrishnan, R., Wang, H., 1997. Hydrologic Modeling of Río Grande/Río Bravo Basin. International ASAE Meeting. Paper No. 972236, Michigan, 17 pp.

SYSTAT Software, Inc. (2006). SigmaPlot for Windows, Version 10.0

IMTA 2017. Informe. Estrategia nacional de seguridad hídrica para el manejo de aguas transfronterizas México-EUA. Análisis y caracterización de sequías en la cuenca del Río Bravo.

Diario Oficial de la Federación (DOF 2011). ACUERDO por el que se da a conocer el resultado de los estudios técnicos de la Región Hidrológica número 24 Bravo-Conchos.

Castorena, Guadalupe, 1980, "Las sequías en el siglo XX", en *Análisis histórico de las sequías en México*, México, SARH/CNH: 59-81.

Culbert, T. Patrick, 1973, *The classic maya collapse*, Albuquerque, University of New Mexico Press.

Dalhin, Bruce H., 1983, "Climate and prehistory on the Yucatan peninsula", *Climatic Change* 5(3):245-264.

Escalante, Carlos y Lilia Reyes, 1998, "Identificación y análisis de las sequías en la región hidrológica número 10, Sinaloa", en *Ingeniería Hidráulica en México* 2(2):23-43.

Florescano, Enrique, 2000, *Breve historia de la sequía en México*, 2ª ed., México, CONACULTA.

Florescano, Enrique, Jaime Sancho y Cervera y David Pérez Gavilán Arias, 1980, "Las sequías en México: historia, características y efectos", en *Comercio Exterior* 30(7):747-757.

García Acosta, Virginia, 1993, "Las sequías históricas de México", en *Desastres y Sociedad* 1(1):2-18.

García Acosta, Virginia, Juan Manuel Pérez Cevallos y América Molinar del Villar, 2003, *Desastres Agrícolas en México. Catálogo histórico, Tomo I. Época prehispánica y colonial (958-1822)*, México, FCE/CIESAS.

Gill, Richardson Benedict, 2008, *Las grandes sequías mayas. Agua, vida y muerte*, 1ª ed. en español, México, FCE.

Hodell, David A., Jason H. Curtis & Mark Brenner, 1995, "Possible role of climate in the collapse of Classic Maya Civilization", in *Nature* 375:391-394.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2013, *Climate change 2013: the physical science basis, summary for policymakers*, Geneva, WMO/UNEP.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía), 2013, "Estadísticas a propósito del día mundial contra la desertificación y la sequía", recuperado el 17 de junio de 2013 desde <http://www.inegi.org.mx/inegi/contenidos/espanol/prensa/Contenidos/estadisticas/2013/sequia0.pdf>

Lean, Judith & David Rind, 2001, "Earth's response to a variable Sun", in *Science* 292(5515):234-236.

Ortega-Gaucin, David, 2012, *Sequía en Nuevo León: vulnerabilidad, impactos y estrategias de mitigación*, Apodaca, Instituto del Agua de Nuevo León. ISBN: 978-607-9203-06-1.

Ortega-Gaucin, D., 2013, Caracterización de las sequías hidrológicas en la cuenca del río Bravo, México. *Terra Latinoamericana*, 31(3):167-180. ISSN: 1870-9982.

Ortega-Gaucin, D., De la Cruz B., J. y Castellano B., H. V., 2015, *Manual para el cálculo de índices de vulnerabilidad ante la sequía en los organismos de cuenca en México*, Jiutepec, Morelos, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

Rodríguez O., Jaime E. y Colin M. MacLachlan, 2001, *Hacia el ser histórico de México. Una reinterpretación de la Nueva España*, México, Diana.

Schubert, Siegfried D., Max J. Suarez, Philip J. Pegion, Randall D. Koster & Julio T. Bacmeister, 2004, "Causes of long-term drought in the U.S. Great Plains", in *Journal of Climate* 17(3):485-503.

SMN (Servicio Meteorológico Nacional), 2017, "Monitor de Sequía en México (MSM)", consultado el 24 de mayo de 2017 desde <http://smn.cna.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-sequia-en-mexico>

Sheffield, Justin, K. M. Andreadis, E. F. Wood & D. P. Lettenmaier, 2009, "Global and continental drought in the second half of the twentieth century: severity-area-duration analysis and temporal variability of large-scale events", in *Journal of Climate* 22(8):1962-1981.

Wilhite, Donald A., 2000, "Drought as a natural hazard: concepts and definitions", in Donald A. Wilhite (ed.), *Drought: a global assessment, Vol. I*, New York, Routledge: 3-18.

Wilhite, Donald A. & Michael H. Glantz, 1985, "Understanding the drought phenomenon: the role of definitions", in *Water International* 3:111-120.

WMO (World Meteorological Organization), 2006, *Vigilancia y alerta temprana de la sequía: conceptos, progresos y desafíos futuros*, Ginebra, WMO.