

DESARROLLO EXPERIMENTAL DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA Y SUBIRRIGACIÓN PARA ZONAS ARIDAS

Informe final

HC0820.1

SUBCOORDINACIÓN DE TECNOLOGÍA APROPIADA E INDUSTRIAL

COORDINACIÓN DE HIDRÁULICA

México, 2008

DESARROLLO EXPERIMENTAL DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA Y SUBIRRIGACIÓN PARA ZONAS ARIDAS

Informe final

HC0820.1

SUBCOORDINACIÓN DE TECNOLOGÍA APROPIADA E INDUSTRIAL

COORDINACIÓN DE HIDRÁULICA

Luis Gómez Lugo
Nahun Hamed García Villanueva

México, 2008

Durante el año 2008, incluido en las actividades de investigación y desarrollo tecnológico, se realizó el proyecto

” DESARROLLO EXPERIMENTAL DE UN SISTEMA DE
CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA Y SUBIRRIGACIÓN PARA
ZONAS ARIDAS ”

a fin de desarrollar tecnología útil dentro de la ingeniería hidroagrícola a aplicarse en zonas áridas y semiáridas de México .

Vigencia del proyecto: 2008.

Clave de control asignada al proyecto: HC0820.1

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN EJECUTIVO.....	1
ANTECEDENTES	2
JUSTIFICACIÓN	3
1. INTRODUCCIÓN	4
2. OBJETIVOS	5
3. METODOLOGÍA.....	6
3.1 PLANEACIÓN GENERAL DEL PROYECTO	8
3.1.1 Ámbito general del proyecto	8
3.1.2 Identificación y definición del usuario	10
3.1.3 Recopilación de la información asociada al riego parcelario tecnificado y sin tecnificar en zonas desérticas del estado de Zacatecas y zonas afines de México	10
3.2 TRAZO GENERAL DE LOS ELEMENTOS DEL PROYECTO.....	12
3.2.1 Ubicación de invernaderos y cisternas	12
3.2.2 Cisterna de 500 m ³	13
3.2.3 Invernadero propuesto.....	14
3.2.4 Sistema de riego TDF	14
3.2.5 Sistema de riego por subirrigación	15
3.2.6 Actividades previas a la implementación del proyecto.....	16
3.3 IMPLEMENTACIÓN DE CISTERNAS DE GRAN CAPACIDAD 500M ³	17
3.3.1 Características de la cisterna	17
3.3.2 Equipo de trabajo y herramientas.....	19
3.3.3 Materiales	20
3.3.4 Procedimiento de implementación de la cisterna	21
3.3.5 Procedimiento ilustrativo de la implementación de la cisterna.....	25
3.4 IMPLEMENTACIÓN DE DOS INVERNADEROS DE 1000M ²	29
3.4.1 Caracterización de los invernaderos	29
3.4.2 Preparaciones.....	30
3.4.3 Procedimiento de implementación de los invernaderos	30
3.4.4 Procedimiento ilustrativo de la implementación del invernadero	31
3.5 INSTALACIÓN DE SISTEMA DE SUBIRRIGACIÓN EN INVERNADERO 1	33
3.5.1 Descripción del sistema de subirrigación en invernadero 1	33
3.5.2 Caracterización del sistema de subirrigación en invernadero 1	34
3.5.3 Procedimiento de implementación del sistema de subirrigación en invernadero 1	35
3.5.4 Procedimiento ilustrativo de la implementación del sistema de subirrigación en invernadero 1	39
3.6 INSTALACIÓN DE SISTEMA DE RIEGO MEDIANTE TDF EN INVERNADERO 2	39
3.6.1 Descripción del sistema de riego mediante TDF en invernadero 2.....	40
3.6.2 Caracterización del sistema riego mediante TDF en invernadero 2	40

INDICE GENERAL

3.6.3	Equipo, herramientas y materiales para la implementación del sistema riego mediante TDF en invernadero 2	41
3.6.4	Procedimiento de implementación del sistema riego mediante TDF en invernadero 2	42
3.6.5	Procedimiento ilustrativo de la implementación del sistema riego mediante TDF en invernadero 2	46
3.7	ELABORACIÓN DE INFORMES Y MANUALES DE INSTALACIÓN.....	47

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Participantes del proyecto	6
Tabla 2. Programación 2008	7
Tabla 4. Cultivos principales para el estado de Zacatecas	11
Tabla 5. Componentes principales para la ejecución del proyecto.....	17
Tabla 6. Características generales de las cisternas de 500m ³	18
Tabla 7. Materiales de una Cisterna tipo muro capuchino (capacidad 500 m ³)	20
Tabla 8. Materiales de tubería y piezas especiales en cada modulo	38
Tabla 9. Generales del tanque de 1.5m ³	41
Tabla 10. Elementos de PVC (4") para armar el sifón interno del tanque TDF.	46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización del sitio del proyecto - Autopista Zacatecas - Fresnillo (Vista Noroeste-Sureste).....	8
Figura 2. Localización del sitio del proyecto - Autopista Fresnillo - Zacatecas (Vista Noreste-Suroeste).....	9
Figura 3. Vista aérea del sitio del proyecto	9
Figura 4. Ubicación de las naves de invernaderos y cisternas	12
Figura 5.- Planta y corte de una cisterna de 500 m ³	13
Figura 6. Detalles constructivos de la cisterna de 500 m ³	14
Figura 7. Estructura de invernadero propuesto	14
Figura 8. Esquema de la cisterna (ubicación de contrafuertes y castillos).	19
Figura 9. Esquema del contrafuerte (contrarefuerto perimetral) de malla Lac.....	23
Figura 10. Ubicación de castillos al interior de la cisterna	23
Figura 11. Vista de planta del sistema de subirrigación.....	34
Figura 12. Corte del sistema de subirrigación	34
Figura 13. Vista de planta del sistema de riego intermitente para invernaderos.	40
Figura 14. Corte del sistema de riego intermitente para invernaderos	41
Figura 15. Corte de los elementos (sifón interno) del sistema de riego intermitente para invernaderos.....	41

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Secuencia de riego con el dispositivo “TDF” – ejemplo de aplicación parcelaria (Gómez, L. 2008).	15
Ilustración 2. Tubería de 4” de Subirrigación y geomembrana	16
Ilustración 3. Procedimiento ilustrativo de la implementación de la cisterna	28
Ilustración 4. Procedimiento ilustrativo de la implementación de los invernaderos	33
Ilustración 5. Procedimiento ilustrativo de la implementación del sistema de subirrigación en invernadero 1	39
Ilustración 6. Procedimiento ilustrativo de la implementación del sistema de riego mediante TDF en invernadero 2.	47

RESUMEN EJECUTIVO

El proyecto HC-08201.1 intitulado "DESARROLLO EXPERIMENTAL DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA Y SUBIRRIGACIÓN PARA ZONAS ÁRIDAS", está clasificado en el rubro de investigación básica, dentro del campo de estudio de ciencias hidroagrícola. Las actividades del proyecto fueron apoyadas por la Universidad Autónoma de Zacatecas bajo convenio de colaboración con el IMTA.

En un contexto general, la propuesta del proyecto se orientó a la implementación de un estudio experimental con dos sistemas pilotos para la producción de alimentos en pequeñas superficies bajo condiciones controladas (1,000 m²) cada uno, mediante el uso de invernaderos cuya fuente de abastecimiento es el agua de lluvia captada en una superficie de aproximadamente 2,500 m² y almacenada en dos cisternas de 500,000 litros c/u.

Un invernadero se equipó con un sistema de riego intermitente - Tanque de Descarga de Fondo (TDF) para riego superficial, el otro invernadero con un sistema de subirrigación mediante una red de tubería subterránea en un estrato de 90 centímetros de profundidad, impermeabilizado con geomembranas para evitar pérdidas por percolación profunda.

Como resultados, se buscó establecer las recomendaciones para esquemas que permitan implementar proyectos de producción bajo condiciones de riego en invernadero teniendo como única alternativa de suministro de agua, la captación y el almacenamiento de agua de lluvia. Con esta alternativa de captación y almacenamiento de agua se tiene la posibilidad de fomentar e impulsar proyectos de producción agrícola bajo condiciones de invernadero en zonas áridas y semiáridas de México

ANTECEDENTES

Durante la última década el IMTA y la UAZ han venido realizando proyectos de sistemas de riego eficientes, como es el caso del sistema de riego mediante el uso del Tanque de Descarga de Fondo “TDF”, este sistema se ha transferido en varias partes de México, p.e. en la cuenca del lago de Pátzcuaro. Siguiendo los principios del “TDF”, bajo convenios de colaboración con la UAZ se han implementado proyectos para regar superficies mayores (1-4 hectáreas).

Actualmente, como parte de las acciones de investigación, desarrollo, transferencia y apropiación de tecnología en materia de agua, el IMTA con apoyo de la UAZ bajo convenios de colaboración ha desarrollado sistemas de almacenamiento, cuya aplicación se está enfocando al almacenamiento de agua de lluvia, con esta alternativa de almacenamiento se tiene la posibilidad de orientar proyectos de producción agrícola bajo condiciones de invernadero en zonas áridas y semiáridas de México, donde la precipitación puede ser limitada, pero habilitando áreas de captación de agua de lluvia se puede obtener volúmenes suficientes para desarrollar proyectos de producción de hortalizas por citar un ejemplo. Bajo este esquema, se propuso utilizar la misma superficie techada de los invernaderos como área efectiva de captación de agua de lluvia, adicionalmente a esta propuesta, se buscó tener la mayor eficiencia del uso del agua de riego mediante sistemas como es el TDF y sistemas de subirrigación.

JUSTIFICACIÓN

La agricultura de México es caracterizada por las siguientes situaciones:

- Existen no menos de 100,000 hectáreas de riego con sistemas rudimentarios que requieren de tecnificación.
- La cantidad de agua disponible es cada vez menor.
- Las lluvias son cada vez más erráticas con grandes variaciones espaciales y temporales por lo que se presentan lluvias extremas en intensidad y con grandes intervalos de ocurrencia, originando desastres tanto por inundaciones como por sequías.
- Hay 40 millones de pobres que requieren alternativas alimentarias y de trabajo.
- Los campesinos y agricultores están cansados de producir en grandes superficies tan solo con fines de subsistencia, por lo que se requieren alternativas que les generen beneficios económicos tangibles.
- La producción de alimentos en invernaderos obedece a tecnología extranjera por lo que resulta costosa, y como consecuencia, solo unos cuantos tienen acceso. Por ello se requiere de una alternativa para la producción de alimentos que resulte económica, de fácil construcción y mantenimiento.
- En lo general los pobres de México, culturalmente siembran maíz y frijol con fines de subsistencia, lo que hace necesario promover un cambio en esta costumbre de manera que produzcan cultivos más rentables.

1. INTRODUCCIÓN

En materia alimentaria, podemos tener buenas ideas y proponer políticas bien intencionadas para producir granos, forrajes y hortalizas; sin embargo, si no consideramos el factor agua, no podremos producir, porque este recurso constituye el elemento número uno para el desarrollo de los procesos productivos en la agricultura. Es así que el uso del agua para riego resulta ser un reto especial, dado que los volúmenes utilizados para tal fin representan un alto porcentaje, situación que exige utilizar métodos y sistemas de riego que ofrezcan las más altas eficiencias.

En México, la lluvia juega un papel muy importante en la producción de alimentos y ahora que la política del gobierno es elevar la producción agrícola, el recurso hídrico se vuelve estratégico, sobre todo en las regiones áridas y semiáridas del país. A falta de fuentes de agua convencionales, cualquier política pública encaminada a aumentar la producción de alimentos debe considerar la captación del agua de lluvia, ya que ésta, representa una alternativa viable para el desarrollo de la agricultura en muchas regiones del país, incluyendo en estas, las zonas áridas y semiáridas.

Bajo el contexto anterior, en el año 2008, enmarcado en las acciones de investigación, desarrollo, transferencia y apropiación de tecnología en materia de agua que el IMTA desarrolla, bajo convenio con la UAZ se implementó el proyecto denominado “Desarrollo experimental de un sistema de captación de agua de lluvia y subirrigación para zonas áridas”, en el que se implementaron dos invernaderos de 1,000 m² c/u, sistemas de captación y almacenamiento de agua de lluvia y sistemas de riego (TDF y subirrigación), a fin generar tecnología útil que permita el desarrollo de la agricultura en las zonas áridas, semiáridas y marginadas del país.

2. OBJETIVOS

Objetivo general

Desarrollar tecnología para la implementación de sistemas de captación de agua de lluvia para el riego de invernaderos, asistidos con TDF y subriego, en pequeñas superficies.

Objetivos específicos

1. Desarrollar la experiencia para la implementación de cisternas de gran capacidad con fines de riego en invernaderos.
2. Desarrollar la experiencia para la aplicación de los TDF en invernaderos.
3. Desarrollar la experiencia para la aplicación del subriego en pequeñas superficies controladas.

3. METODOLOGÍA

El proyecto se desarrolló en el estado de Zacatecas, con la participación de la universidad Autónoma de Zacatecas “UAZ”, bajo la coordinación, asesoría técnica y aprobación del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua “IMTA”.

Para llevar a cabo el proyecto experimental se tuvo la siguiente participación.

Tabla 1. Participantes del proyecto

PARTICIPANTES EN EL PROYECTO:		
Nombre	Institución	Cargo
Dr. Nahun H García Villanueva	IMTA	Coordinador de hidráulica
M en I Luis Gómez Lugo.	IMTA	Jefe de Proyecto
M en I J Natividad Barrios Domínguez.	UAZ	Jefe proyecto

Las actividades del proyecto se desarrollaron bajo el siguiente protocolo

1. Planeación general del proyecto.
2. Trazo general de los elementos del proyecto.
3. Implementación de cisternas de gran capacidad 500m³.
4. Implementación de dos invernaderos de 1000m² c/u.
5. Instalación de sistema de Subirrigación en Invernadero 1
6. Instalación de sistema de riego mediante TDF en invernadero 2
7. Elaboración de informes y manuales de instalación.

Cuya calendarización de actividades programada para el 2008 fue la siguiente:

DESARROLLO EXPERIMENTAL DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA Y SUBIRRIGACIÓN PARA ZONAS ARIDAS

Tabla 2. Programación 2008

Programa de Actividades 2008												
Actividad	Meses											
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1										xxxx	xxxx	
2											xxxx	xx
3											xxxx	xxxx
4												xxxx
5												xxxx
6												xxxx
7			xxxx	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx

Dado que se trata de un proyecto donde la fuente de agua es la lluvia en la programación de actividades fue necesario realizar el siguiente complemento de ajuste en la calendarización propuesta:

3.1 Planeación general del proyecto

Se recopiló información asociada al ámbito del proyecto. Se identificó y definió al usuario con el que se desarrollaría esta aplicación tecnológica. Se realizó una revisión sobre los sistemas de riego parcelario tecnificado y sin tecnificar en zonas desérticas del estado de Zacatecas y zonas afines de México.

3.1.1 Ámbito general del proyecto

Localización del proyecto

- ✓ Lugar: Ejido La pimienta, Zacatecas
- ✓ Distancia desde el centro de la ciudad de Zacatecas: 5 km
- ✓ Coordenadas geográficas: latitud $22^{\circ}47.7016'$, longitud $w 102^{\circ}37.6567'$

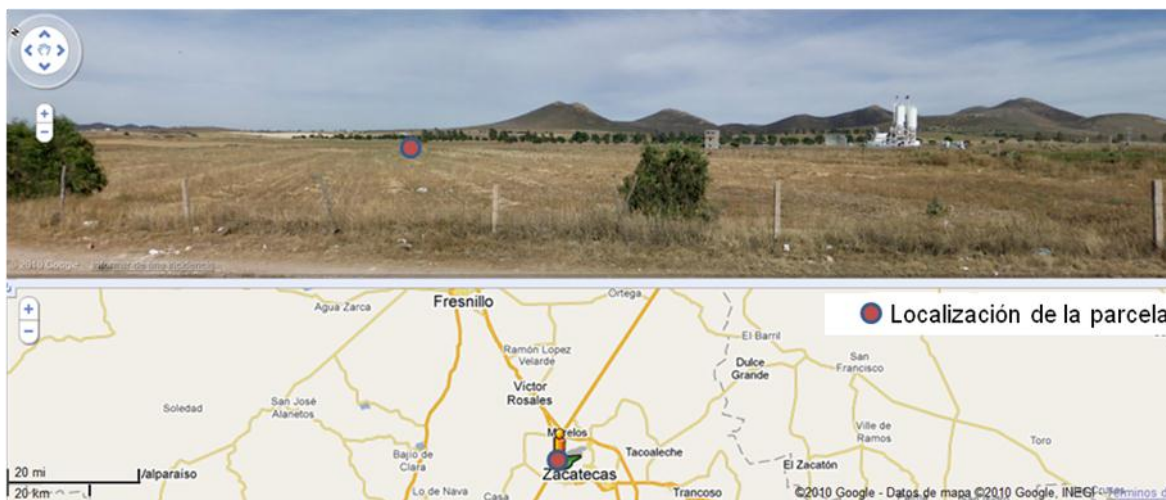


Figura 1. Localización del sitio del proyecto - Autopista Zacatecas - Fresnillo (Vista Noroeste-Sureste)

DESARROLLO EXPERIMENTAL DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA Y SUBIRRIGACIÓN PARA ZONAS ARIDAS



Figura 2. Localización del sitio del proyecto - Autopista Fresnillo - Zacatecas (Vista Noreste-Suroeste)



Figura 3. Vista aérea del sitio del proyecto

Datos climatológicos:

- ✓ Velocidad del viento en el sitio: 35 km/h
- ✓ Precipitación media en la estación la bufa en la ciudad de Zacatecas: 420 mm
- ✓ Temperatura media anual: 18 °C
- ✓ Temperatura máxima promedio: 27°C
- ✓ Temperatura mínima promedio: 0

3.1.2 Identificación y definición del usuario.

El propietario de la parcela es el Señor Manuel Escobar Valdés, persona que fue identificada y definida para participar en el proyecto. Su parcela tiene las siguientes características:

- ✓ Superficie disponible: 7,000 m²
- ✓ Dimensiones: 200 m de largo por 35 m de ancho
- ✓ Tipo de terreno: plano con pendiente de 1.5%
- ✓ Mecánica de suelos. Con el fin de contar con datos base confiables de la capacidad de carga del suelo y definir el nivel de la losa de fondo, se llevo a cabo una prueba de laboratorio, obteniendo una resistencia de 5 ton/m². Para el caso de la cisterna que nos ocupa, cuando esté llena de agua ejercerá sobre el suelo una carga de 2.5 ton/m². Para ello solo se desplantó una profundidad de 30 cm.

3.1.3 Recopilación de la información asociada al riego parcelario tecnificado y sin tecnificar en zonas desérticas del estado de Zacatecas y zonas afines de México

El municipio de Zacatecas tiene como coordenadas geográficas extremas: al norte 22° 50', al sur 22° 37' de latitud norte; al este 102° 32' y al oeste 102° 51' de longitud oeste. Su altura media es de 2,496 msnm. Colinda al norte con los municipios de Calera, Morelos y Vetagrande; al este con Vetagrande y Guadalupe; al sur con Guadalupe, Genaro Codina y Villanueva; al oeste con el municipio de Jerez.

El estado de Zacatecas se caracteriza por tener regiones con un clima adverso para las actividades agrícolas, con precipitaciones erráticas, en cantidad y oportunidad; y además, con heladas muy tempranas, suelos casi desnudos de vegetación, poco profundos y salinos. Zacatecas, por su situación orográfica, no cuenta recursos hidráulicos subterráneos ni con grandes ríos que permitan su aprovechamiento. Estas restricciones hacen necesario implementar estrategias y programas de uso eficiente del agua para riego. Las tierras agrícolas en Zacatecas pueden subdividirse en agricultura de riego y agricultura de temporal, modos de producción agrícola que se definen a continuación.

Agricultura de Riego.- En realidad, se trata de una agricultura de medio riego es decir, con riegos de punteo y algunos riegos de auxilio; y se le lleva a cabo sobre pequeñas superficies sobre suelos de profundidad y fertilidad medias que tienen pendientes menores

DESARROLLO EXPERIMENTAL DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA Y SUBIRRIGACIÓN PARA ZONAS ARIDAS

de 10%. El riego se lleva a cabo por gravedad. Mediante esta modalidad de producción agrícola se cultivan maíz y frijol.

Agricultura de temporal.- Se lleva a cabo sobre suelos de profundidad y fertilidad medias, con pendientes menores de 6 % y escasa pedregosidad; bajo climas con índices de precipitación tales que permiten cosechas regulares. Las labores se realizan en forma mecanizada o mediante tracción animal. Poco más de la mitad de los productores emplean fertilizantes, y muy pocos usan pesticidas. Se encuentran sitios dedicados a este modo de agricultura en la superficie de gran meseta con lomeríos y en el piso amplio de valle asociado con lomeríos; además de pequeñas áreas en la superficie de pequeña meseta asociada con valles y en el piso de valle con terrazas y cañadas.

La comisión Nacional del Agua en su informe de Riego en México reporta como acción relevante la tecnificación del modulo de riego “Leobardo Reynoso”. El distrito de riego 034 del estado de Zacatecas, cuenta con 6 módulos de riego los cuales disponen del 15% de la superficie total irrigada en el estado.

En general, la cultura del uso del agua a nivel parcelario por los usuarios es muy baja, cerca del 45%, causado principalmente por el desconocimiento de las variables que intervienen en el riego como son longitud del surco o melga, gasto, pendiente y tiempo de aplicación, los cuales dependen de la topografía y de las características hidrodinámicas del suelo, y no como se usa actualmente a criterio del regador, lo que ha sido insuficiente para elevar la producción y hacer un buen uso del recurso. Para el caso específico del módulo de riego Leobardo Reynoso donde los sistemas parcelarios de riego son usados y operados, basándose en la experiencia del regador; esto no basta para su mejoramiento y aprovechamiento: ya que se requiere combinar la experiencia con el entendimiento de los procesos involucrados en el sistema de riego, los cuales son numerosos y muy complejos, y que además se requiere de muchos recursos y tiempo para realizarlos en campo.

Los cultivos principales a nivel estado se presentan en el cuadro siguiente:

Tabla 4. Cultivos principales para el estado de Zacatecas

Cultivo	Superficie cosechada (Has)	Porcentaje	Valor (Miles de pesos)	Porcentaje
Total	1 207 752	100.0	5 939 456.1	100.0
Frijol grano	619 359	53.5	1 642 636.2	27.7
Maíz grano	325 373	28.1	737 861.8	12.4
Avena forraje	121 205	10.5	453 056.0	7.6
Chile seco	31 644	2.7	1 978 894.5	33.3
Maíz forraje	18 623	1.6	135 180.5	2.3

DESARROLLO EXPERIMENTAL DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA Y SUBIRRIGACIÓN PARA ZONAS ARIDAS

Chile verde	7 891	0.7	232 270.7	3.9
Cebada grano	4 652	0.4	17 520.4	0.3
Trigo grano	3 369	0.3	11 470.1	0.2
Cebolla	2 902	0.2	51 844.8	0.9
Zanahoria	2 851	0.2	32 220.3	0.5
Resto	19 804	1.7	646 500.8	10.8

Fuente: Anuario Estadístico del Estado de Zacatecas. Edición 2005

3.2 Trazo general de los elementos del proyecto.

Previo a la implementación de los sistemas de producción bajo condiciones de invernadero con dos modalidades de riego, se realizó la planeación e integración de los elementos de las cisternas 500 m³ e invernaderos con captación de agua de lluvia y de los sistemas de riego bajo el principio del TDF y subirrigación.

3.2.1 Ubicación de invernaderos y cisternas

Se realizaron los levantamientos topográficos y planeación para ubicar las naves de invernadero y las cisternas de 500 m³. En la figura 4 se muestra su distribución.

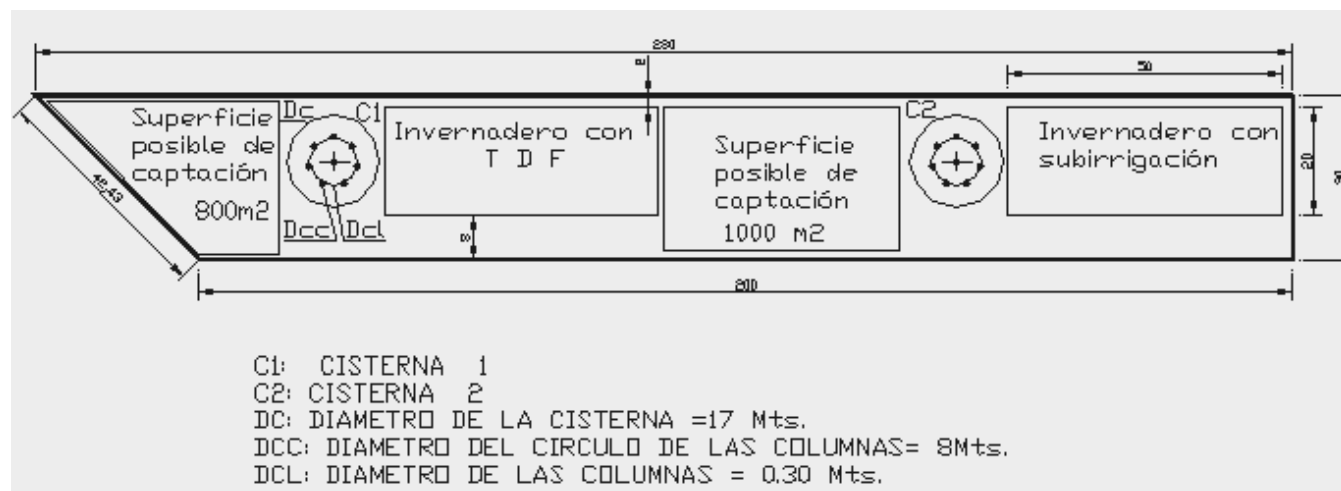


Figura 4. Ubicación de las naves de invernaderos y cisternas

DESARROLLO EXPERIMENTAL DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA Y SUBIRRIGACIÓN PARA ZONAS ARIDAS

3.2.2 Cisterna de 500 m³

Se optó por cisternas cilíndricas tipo capuchino, con diámetro de 16.64 m y altura de 2.4 metros. Son cisternas de fácil y rápida implementación, cuyos materiales principales (malla electro soldada, tabique, cemento, arena y grava) se encuentra disponibles en la región.

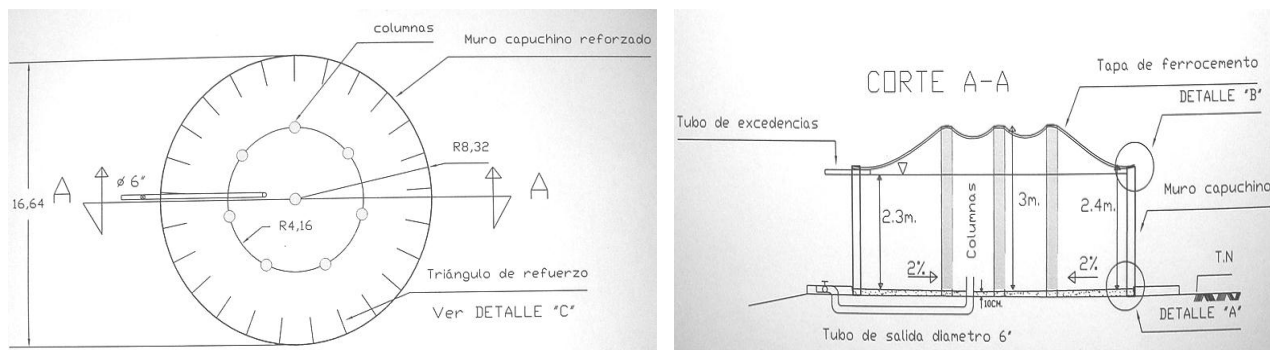


Figura 5.- Planta y corte de una cisterna de 500 m³

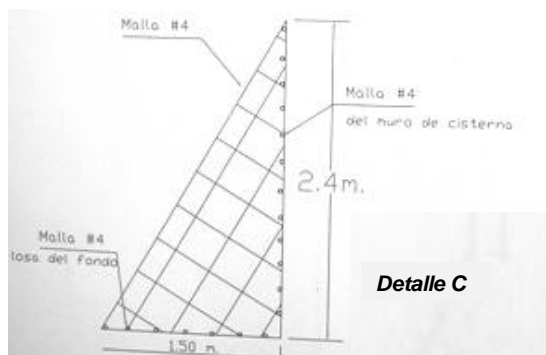
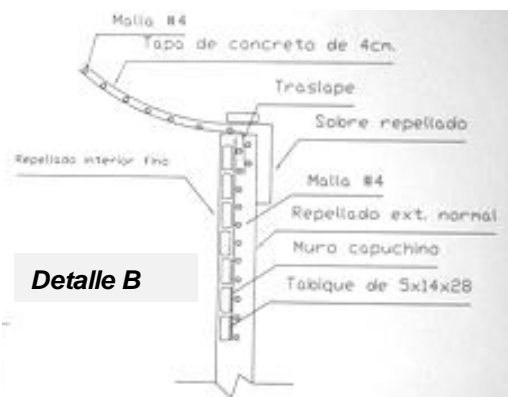
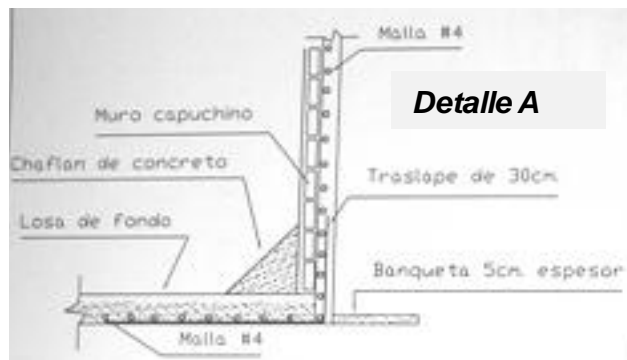


Figura 6. Detalles constructivos de la cisterna de 500 m³.

3.2.3 Invernadero propuesto

Se seleccionó un invernadero de dos módulos. Con un área interna total de 1000 m² c/u, con dimensiones de 20 metros de ancho X 50 metros de largo. Adicionalmente, se dispone de una banda perimetral de 1 metro que servirá como área de circulación.

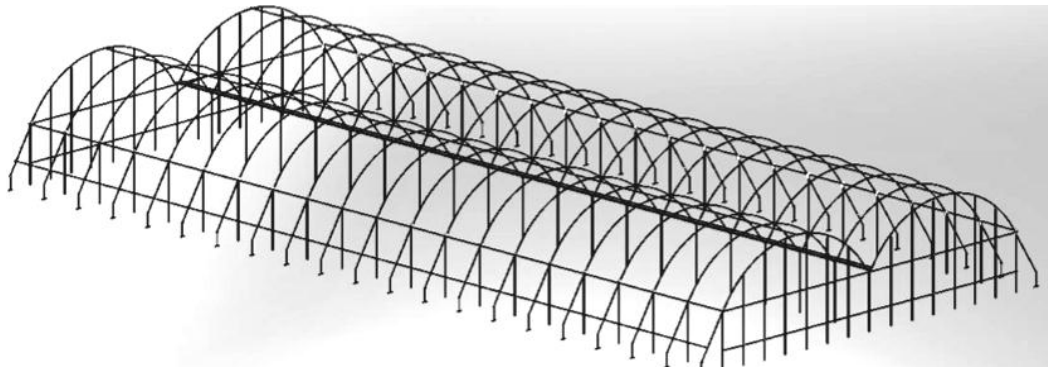


Figura 7. Estructura de invernadero propuesto.

3.2.4 Sistema de riego TDF

La aplicación del sistema de riego con TDF a nivel parcelario y/o invernadero surge de la necesidad de regar superficies mayores a las de un huerto familiar con eficiencias de riego mayores al riego por surcos convencional. Para ello se ha escalado el tanque de almacenamiento de 200 litros a un tanque de 1.5m³. En la etapa de aplicación del agua a los surcos, se utiliza tubería de compuerta de 6 pulgadas. Durante el evento de riego se desarrollan dos fases, una de llenado de la cisterna de riego “TDF”, donde se presenta el principio de amplificación del gasto y otra de vaciado del tanque en donde se aplica el riego por medio de la tubería de compuerta o cintilla regante.

A manera de ejemplo, a continuación la secuencia de las fases de llenado y vaciado durante una aplicación de riego parcelario:

DESARROLLO EXPERIMENTAL DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA Y SUBIRRIGACIÓN PARA ZONAS ARIDAS



Ilustración 1. Secuencia de riego con el dispositivo “TDF” – ejemplo de aplicación parcelaria (Gómez, L. 2008).

Con este sistema de riego con TDF se puede:

- ✓ reducir los tiempos y complejidades en la aplicación del agua de riego
- ✓ facilitar la cuantificación del agua aplicada en cada riego
- ✓ fomentar el uso eficiente del agua

3.2.5 Sistema de riego por subirrigación

Consiste en el riego de plantas por medio del ascenso capilar, suministrando el agua desde el subsuelo. Para ello es necesario colocar tuberías subterráneas desde donde se suministra el agua.

Para superficies con cultivo masivo es necesaria una red de tubos que mantenga los niveles freáticos según lo requiera el cultivo. Para plantas aisladas como los frutales es suficiente con dejar un punto con perforación adecuada para el suministro de la humedad a la planta.

Para evitar las pérdidas de agua hacia los estratos inferiores del suelo se ha planteado la colocación de una frontera impermeable a 1 m de profundidad mediante la colocación de geomembrana en fondo y paredes. Para el invernadero con el sistema de Subirrigación, se

DESARROLLO EXPERIMENTAL DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA Y SUBIRRIGACIÓN PARA ZONAS ARIDAS

decidió definir dos módulos de 9x 49 m dimensiones que resultan al dejar libre las líneas de las columnas centrales y laterales del invernadero

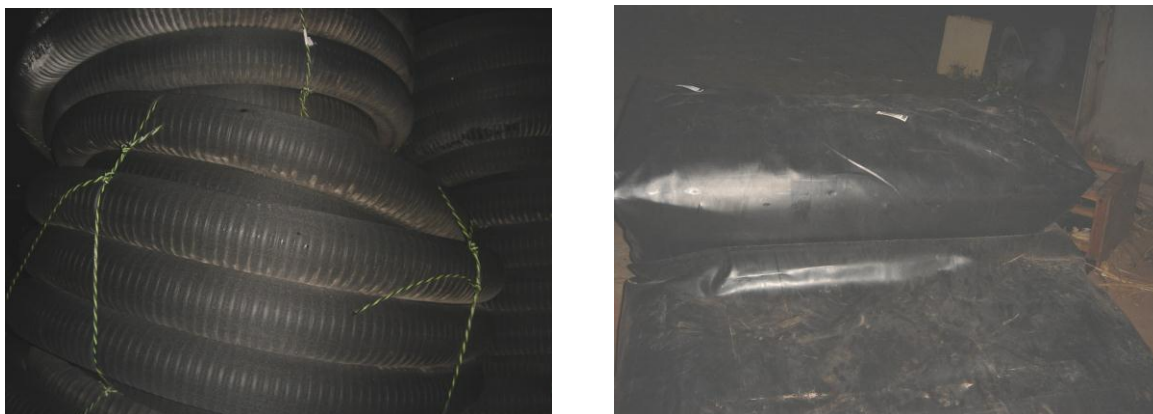


Ilustración 2. Tubería de 4" de Subirrigación y geomembrana

3.2.6 Actividades previas a la implementación del proyecto

Con base en los logros alcanzados en los métodos constructivos de tecnologías apropiadas para el manejo del agua a nivel vivienda y/o comunidad y en la necesidad de generar alternativas tecnológicas para el desarrollo rural y para la producción alimentaria, que sean económicas, ecológicas y de fácil instalación para el habitante rural de México y en especial de la zonas áridas y semiáridas, el IMTA y la UAZ unieron esfuerzos para desarrollar el proyecto “DESARROLLO EXPERIMENTAL DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA Y SUBIRRIGACIÓN PARA ZONAS ARIDAS”.

Se propuso que este proyecto se desarrollará en un sitio de Zacatecas que cumpliera con los siguientes requisitos.

- De fácil acceso para la supervisión y posibles visitantes
- Ubicado en un lugar cercano a la Ciudad de Zacatecas con el fin de dar seguimiento durante el periodo de instalación y pruebas
- Con un usuario (productor) dedicado a las labores del campo
- Con posibilidades de disponer del predio del usuario para hacer experimentación por un período de al menos 2 años vegetativos.

DESARROLLO EXPERIMENTAL DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA Y SUBIRRIGACIÓN PARA ZONAS ARIDAS

Con base en lo anterior, una vez seleccionado el sitio, se llevaron a cabo 3 reuniones con los ejidatarios del Ejido La Pimienta, Zacatecas y se autorizó iniciar las actividades del proyecto y se definieron de manera general los componentes principales para la ejecución del proyecto.

Tabla 5. Componentes principales para la ejecución del proyecto

No	CONCEPTO	Cantidad	Características
1	Sistema de almacenamiento de agua de lluvia (cisternas)	2	Capacidad 500,000 litros
2	Naves de invernadero	2	Superficie 1000m ²
3	Techumbre para invernadero	2	Malla que protege a cada nave de invernadero y capta agua de lluvia
4	Canaletas y conducciones	Varios	Sistema de recolección y conducción del agua de lluvia
5	Red de tubería y conducciones para el sistema de subirrigación	1	Líneas de tubería para cubrir una nave de invernadero (1,000m ²)
6	TDF de 1000 litros de capacidad y conducciones	1	Sistema de riego - una nave de invernadero (1000m ²)
7	Plántula, fertilizantes e insumos	varios	

3.3 Implementación de cisternas de gran capacidad 500m³.

Se implementaron dos cisternas de 500m³ c/u utilizando la técnica de muro capuchino, que resulta ser muy atractiva y con gran potencial de uso, pues se ha logrado de manera exitosa reducir los costos y tiempos de implementación; además, de facilitar considerablemente los procesos y procedimientos constructivos.

3.3.1 Características de la cisterna

DESARROLLO EXPERIMENTAL DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA Y SUBIRRIGACIÓN PARA ZONAS ARIDAS

Es una cisterna de gran diámetro estructurada y provista de contrafuertes externos colocados a cada 2 metros de longitud sobre la periferia de la cisterna.

Tabla 6. Características generales de las cisternas de 500m³.

Diámetro de la cisterna	16.64 m
Diámetro hasta el anillo de refuerzo (con banda perimetral a la cisterna)	19.04m
Ancho de la banda perimetral donde cimentan los contrarefueros	1.2m
Diámetro para cisterna y maniobras en el proceso constructivo	22m
Altura de nivel del agua	2.3 m
Volumen almacenado	503 m ³
Radio para la distribución de columnas	4.22 m
Número de columnas	8 (*)
Separación de columnas en todos sentidos	4 m
Altura de las columnas	3 m
Número de contrafuertes	27

(*)7 en el círculo interior y 1 al centro

DESARROLLO EXPERIMENTAL DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA Y SUBIRRIGACIÓN PARA ZONAS ARIDAS

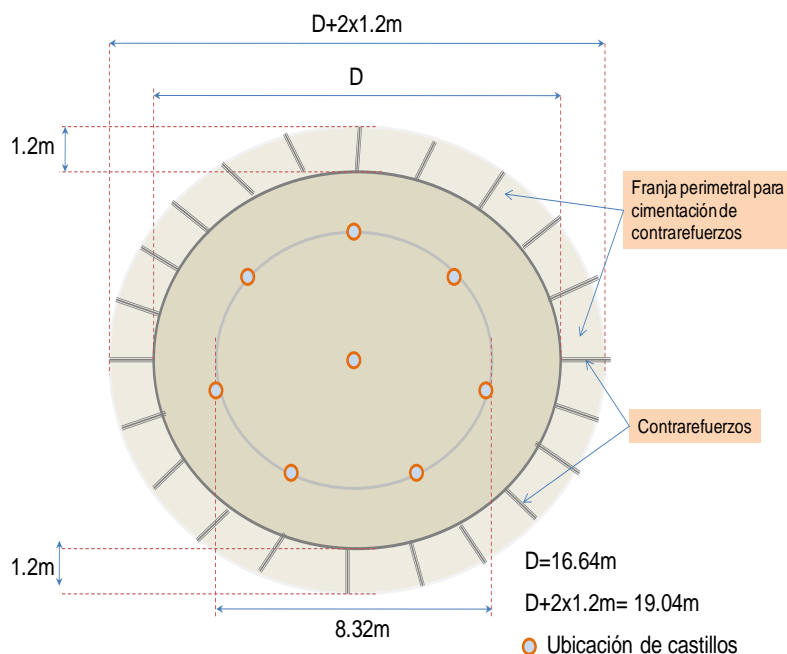


Figura 8. Esquema de la cisterna (ubicación de contrafuertes y castillos).

3.3.2 Equipo de trabajo y herramientas

Para la mano de obra durante la implementación de las cisternas de 500 m^3 se requirió de una brigada compuesta por: 7 albañiles y 4 Peones.

- ✓ 1 retroexcavadora
- ✓ 5 picos y 5 palas
- ✓ 1 nivel fijo automático para nivelar
- ✓ 2 cizayas
- ✓ 1 tinaco de 1,000 litros
- ✓ 1 Equipo de albañil puesto por cada oficial.
- ✓ 5 embudos para la colocación de mezcla del muro capuchino
- ✓ 1 cinta de 20 metros y 15 amarradores de alambre
- ✓ 1 revolvedora, 1 escalera de tijera de 5 metros y 1 carretilla

3.3.3 Materiales

Los materiales utilizados en una cisterna de 500m³ se muestran a continuación:

Tabla 7. Materiales de una Cisterna tipo muro capuchino (capacidad 500 m³)

Descripción	Unidad	Cantidad
Ladrillo (14x24x5 cm)	Pieza	5,500
Cemento	Bulto	320
concreto premezclado	m ³	42
Grava	m ³	12
Arena	m ³	20
varilla de 3/8"	Pza	25
Alambre recocido	Kg	50
Malla electrosoldada # 4	Rollo	9
sonotubo 30 de diámetro	Pza	8
castillo armex de 15x20	Pieza	7
Válvula de mariposa 6"	Pieza	1
Tapa registro	Pieza	1
Tubo de PVC (2 Pulgs)	Tramo	1
Niple (5 Pulgs.)	Pieza	1
pintura	Lote	1
Cal	Kg	1
Piezas y materiales para detalles	Lote	1

El costo de las cisternas de 500m³ incluyendo materiales e insumos, tiene un aproximado de 30 centavos por cada litro de agua almacenado, este costo se encuentra muy por debajo de otras alternativas que se tienen en México, tal diferencia se explica tanto por los materiales usados, como por los procesos constructivos realizados en cada caso (Barrios D., 2008).

3.3.4 Procedimiento de implementación de la cisterna

LOCALIZACIÓN DEL SITIO

Se ubico en un suelo resistente cercano al área de captación (techumbres de naves de invernadero) desde donde se recolectará y conducirá el agua de lluvia hacia la cisterna.

Se aseguro una resistencia de 3 ton/m^2 , resistencia suficiente para el soporte de la carga que tendrá el suelo cuando la cisterna este llena de agua (2.3 ton/m^2 aproximadamente).

DESPLANTE

Se elimino una capa de suelo de 25cm de espesor utilizando una retroexcavadora. Con este desplante, el fondo de la cisterna quedo 15 centímetros abajo de la superficie de suelo y con ello se asegura un tirante de agua permanente para evitar fracturas en la cisterna.

LIMPIEZA, TRAZO, NIVELACIÓN Y COMPACTACIÓN DEL TERRENO

Se limpio y nivelo una superficie circular de diámetro 21.04m ($D+4.40\text{m}$), donde, “D” representa el diámetro de la cisterna ($D=16.64$) y 4.40 metros “franja circula exterior” donde se anclaran los contrarrefuerzos perimetrales de la cisterna y el espacio necesario para realizar actividades por la parte externa de la cisterna.

Se trazo una circunferencia de 19.04 metros de diámetro [(diámetro cisterna =16.64m más 2.4 (2X1.2 metros)], al interior y centro de esta circunferencia se fijo una varilla de 50 centímetros. Se trazo la circunferencia de la cisterna de malla a malla ($D= 16.64\text{m}$ y $r= 8.32\text{m}$), utilizando un hilo de longitud igual al radio desde la varilla del centro hasta el otro extremo marcando la circunferencia con cal. Se nivelo el terreno delimitado con esta circunferencia, poniendo puntos de control y utilizando un nivel fijo mediante hilos colocados radialmente y se apisono y agregó una cama delgada de grava de 2 centímetros de espesor como preparación para el colado de fondo

Se trazo y marcó una circunferencia 8.32 metros de diámetro para fijar la posición de 7 columnas (se utilizó el procedimiento del hilo)

ARMADO DE LA MALLA PARA EL PISO

Se cortaron tramos de malla y se colocaron sobre la circunferencia trazada (incluyendo la franja perimetral de 1.2m). Se hicieron los amarres con alambre recocado con traslape de 2 cuadros (30 centímetros) en cada unión de tramo, dejando fija la malla de fondo con un excedente de malla hacia el exterior de 30 cm para llevar a cabo el doblado hacia arriba una vez colocado el anillo de acero (muro de la cisterna).

Se cortaron tramos de malla y colocaron sobre los espacios, huecos y esquinas para cerrar la base total de la cisterna, respetando en cada unión el traslape de amarre de 30 centímetros.

ARMADO DE LA MALLA PARA EL CILINDRO (CUERPO DE LA CISTERNA)

Con la finalidad de formar el cilindro, se unieron tramos de malla calibre 4 para obtener una longitud igual a $[(\pi \cdot D) + \text{traslape}] = [(3.1416 \cdot 16.64\text{m}) + 0.60\text{m}] = 52.88\text{m}$.

Nota: El rollo de malla mide 40 metros de longitud, se requirió un rollo de malla y un tramo de 12.88 metros.

Se marco nuevamente la circunferencia de la cisterna con cal para facilitar la fijación de la malla y se colocó el tramo de 52.88m sobre la base siguiendo la marca de cal para formar el cuerpo estructural de la cisterna. En la unión o cierre del cilindro se hicieron los amarres contemplando un traslape de 4 cuadros (60 centímetros).

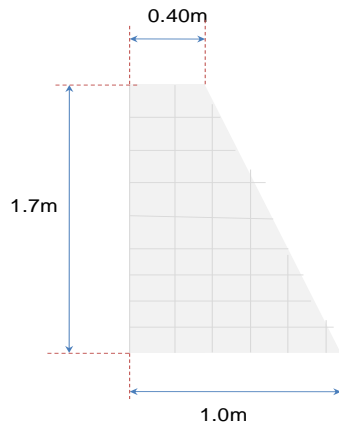
Se amarró la malla de la base a la del cilindro con alambre recocado y los sobrantes se cortaron en forma de T y se doblaron hacia arriba para amarrarlos a la malla que forma el cilindro. Una vez amarradas las mallas (fondo / cilindro) quedó armado el esqueleto de la cisterna.

Dada la capacidad de la cisterna se reforzó con doble malla la mitad del muro. Además de los contrafuertes o contrarefuertos alrededor del cilindro de malla para evitar deformaciones.

ARMADO DE LA MALLA PARA LOS CONTRAREFUERTOS Y COLOCACIÓN DE CONTRAREFUERTOS

A fin de reforzar la parte perimetral de la cisterna se pusieron contrarefuertos cada dos metros sobre la periferia de la cisterna.

DESARROLLO EXPERIMENTAL DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA Y SUBIRRIGACIÓN PARA ZONAS ARIDAS



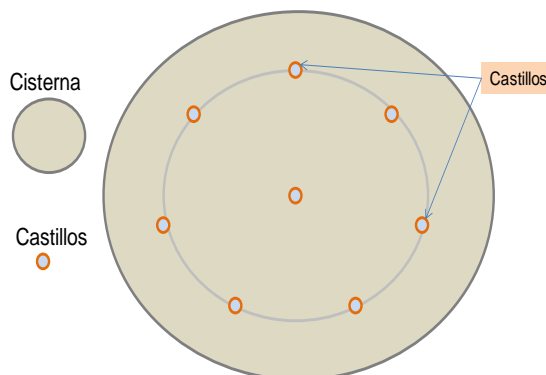
El corte de malla para el contrafuerte (contrarefuerzo) tiene forma trapezoidal de 1 m de base mayor, 0.40 m de base menor y 1.7 de altura.

Los contrarefuertos quedaron amarrados a la malla del fondo sobre la franja periferal y la malla que forma el cilindro.

Figura 9. Esquema del contrafuerte (contrarefuerzo perimetral) de malla Lac

COLACACIÓN DE LOS ARMES Y SONOTUBOS PARA LOS CASTILLO

Se colocaron y amarraron 8 armes de 3 metros de altura a la malla del fondo de la cisterna, uno al centro y los 7 restantes como se indica en la figura siguiente:



Se ubicaron y nivelaron verticalmente sonotubos en cada armes colocado

En cada armes colocado se puso una zapata de refuerzo

Zapata (1mX1m)

Figura 10. Ubicación de castillos al interior de la cisterna

COLADO DE LA LOSA DEL FONDO

Se realizo el colado del fondo de la cisterna contratando concreto premezclado con una resistencia $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$, el espesor fue de 10 centímetros cuidando la nivelación y desniveles con ayuda de maestras (varillas e hilos).

LEVANTAMIENTO DEL MURO CAPUCHINO

Dos horas después de terminar el colado del fondo de la cisterna se procedió a la colocación del muro capuchino. El procedimiento es el propuesto en el manual de construcción de cisternas de tipo capuchino (Barrios, et al 2007). Mediante el uso de un embudo para la colocación de mezcla, se colocaron 5,500 tabiques rojos en forma de canto por dentro de la malla. En la parte de la última hilada de tabique se dejó un espacio para instalar el tubo de excedencia (tubo PVC 4”).

REPELLADOS Y ACABADOS

Previo a las etapas de repellado, a fin de dar mayor refuerzo a la cisterna, se pusieron 3 refuerzos con varilla (anillos de varilla) sobre la periferia de la cisterna: 1er refuerzo. 15 cm del fondo de la losa, 2do refuerzo a 2/3 partes de la altura de la cisterna (midiendo de arriba hacia abajo) y 3er refuerzo a 15 cm abajo de la altura de la cisterna. Estos refuerzos se amarraron (varilla – malla) por la parte externa del cilindro de malla.

El repellado y acabado exterior fue para cubrir la malla y las varillas de la intemperie y para darle resistencia al muro. Este repellado fue de 2 centímetros de espesor y se aplicó en tres capas para rellenar huecos y reforzar el tabique: 1er capa (agua-cemento-arena), 2da capa (agua-cemento-arena cribada) y 3ra capa (agua-cemento-arena cribada).

El acabado interno fue para evitar filtraciones. Previamente a la aplicación del repellado interno, se colocó la malla del techo tejida con arpillá. Esto fue con la finalidad de llevar a cabo el repellado interno a la sombra para evitar fracturas del repellado originado por las altas temperaturas debidas a la radiación solar y al aire. El repellado interno se llevó a cabo mediante 5 capas intercaladas: 1er capa (agua-cemento-arena), 2da capa (agua-cemento-arena cribada), 3ra capa (agua-cemento), 4ta capa (agua-cemento-arena cribada) y 5ta capa (agua-cemento). En la junta del muro con el piso, se puso un chaflán para evitar posibles fugas.

COLADO DE CONTRAFUERTE (SOPORTES EXTERIORES A LA CISTERNA)

Los contrarefuerto armados y colocados a cada 2 metros sobre la periferia de la cisterna, se cimbraron y colaron a unos 5 centímetros debajo de la losa de fondo con el fin de colarlos sobre el terreno firme.

ARMADO Y COLADO DE LA TAPA DE LA CISTERNA

Se tejieron tramos de malla con arpillera para el techo y se colocaron sobre los castillos y parte superior del muro para formar el techo. Para ello, también se utilizaron varillas (estrella de varillas) de soporte desde el centro de la cisterna (castillo) hacia la periferia de la cisterna. Una vez colocada la malla y las varillas, se realizaron los amarres con los traslapes recomendados y se procedió a realizar el colado. Las varillas y malla quedaron ahogadas en el concreto con un espesor de 4 centímetros.

Se dejó un orificio en el techo para instalar un tubo de llegada del agua y el espacio para la colocación de la tapa para inspección y mantenimiento de la cisterna.

TERMINADOS DE LA CISTERNA Y COLOCACIÓN DEL VERTEDERO EXCEDENCIA

Se instaló un tubo PVC de 6" en la parte superior de la cisterna para excedencia. Se pegó una hilera de tabique en la periferia de la cisterna sobre la tapa. Se aplicó una capa de mezcla sobre una franja de 60 centímetros (desde la parte superior de la cisterna hacia abajo) tomando como espesor la cuerda de $\frac{3}{4}$ " (cubrir ese espesor)

Se pintó la cisterna para ofrecer una mejor imagen y protegerla de la intemperie

3.3.5 Procedimiento ilustrativo de la implementación de la cisterna



Limpieza, trazo, nivelación y compactación del terreno

DESARROLLO EXPERIMENTAL DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA Y SUBIRRIGACIÓN PARA ZONAS ARIDAS



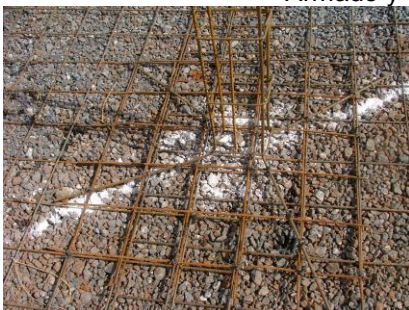
Armado y amarre para la losa de la cisterna



Armado y amarre para el cilindro de la cisterna



Armado y colado de contrarefueros sobre la franja perimetral



Armado y amarre de zapatas de refuerzo y columnas sobre el circunferencia auxiliar

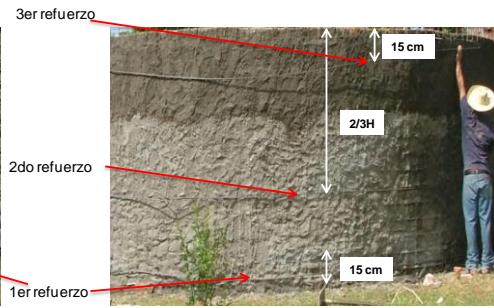
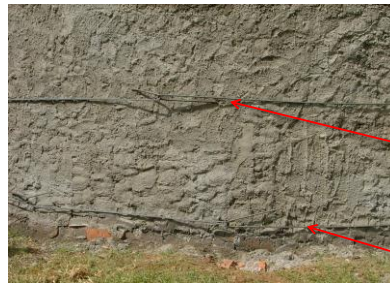
DESARROLLO EXPERIMENTAL DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA Y SUBIRRIGACIÓN PARA ZONAS ARIDAS



Colado de la losa del fondo de la cisterna



Levantamiento del muro capuchino



Colado de castillos y colocación y recubrimiento de refuerzos (anillos de varilla periféricos a la cisterna)



Colado parte externa de la cisterna y colado de cotrrefuerzos

DESARROLLO EXPERIMENTAL DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA Y SUBIRRIGACIÓN PARA ZONAS ARIDAS



Colado parte interna de la cisterna y chaflán



Tejido y colocación de malla con arpilla y colado de la tapa



Repellado del refuerzo en la parte superior de la cisterna y colocación del vertedero excedencia



Cisterna terminada 500m³

Ilustración 3. Procedimiento ilustrativo de la implementación de la cisterna

3.4 Implementación de dos invernaderos de 1000m²

Se implementaron dos invernaderos

- ✓ Invernadero 1: riego por gravedad a través de TDF
- ✓ Invernadero 2: riego por subirrigación a través de una red de tubería para aplicación del agua subsuperficial.

3.4.1 Caracterización de los invernaderos

A continuación los datos generales del invernadero

- ✓ Invernadero tipo familiar con ambiente semi controlado (insolación, viento y temperatura)
- ✓ Dimensiones: 20 x 50 m
- ✓ Superficie: 1000 m²
- ✓ Pendiente del terreno 1.5%
- ✓ Longitud de surco 50 m (riego por gravedad a través de TDF)
- ✓ Fuente de abastecimiento de agua: captación de agua de lluvia
- ✓ Área bajo el invernadero: 20 X 50 m (1000 m²)
- ✓ Altura de columnas en la parte alta del terreno: 2.5 m
- ✓ Altura de columnas en la parte baja del terreno: 4.5
- ✓ Ancho del túnel: 10 m de columna a columna
- ✓ Espaciamiento entre columnas: 2.5 m
- ✓ Altura de la malla antiáfidos (virus): 1.8 m
- ✓ Techo de plástico: C720UV2
- ✓ Una puesta con exclusiva de 2.5 x 2.5 m
- ✓ Canaleta de lámina galvanizada de sección trapecial con taludes 1:1 y base de 20 cm
- ✓ Pendiente de la canaleta hacia la cisterna: 1.5 %

3.4.2 Preparaciones

Para la implementación de cada invernadero, se adquirieron previamente los materiales, los perfiles y demás elementos de acero. Cada pieza se mandó elaborar en un taller de herrería. Posteriormente se contrató personal especializado para la instalación.

El material para la instalación fue el siguiente:

- ✓ Columnas de diferentes longitudes
- ✓ Arcos de 11 m
- ✓ Refuerzos laterales cimentados de .6 m de largo
- ✓ Refuerzos laterales superiores de 2.5 m de largo
- ✓ Canaletas en tramos de 3 m
- ✓ Largueros horizontales en tramos de 2.5 m

3.4.3 Procedimiento de implementación de los invernaderos

TRAZO Y NIVELACIÓN

Se ubicó y trazó cada invernadero según los espacios considerados en el proyecto general elaborado y tomando en cuenta la altura máxima de la cisterna donde almacenará el agua de lluvia captada en los techos de cada invernadero.

CIMENTACIÓN, COLOCACIÓN Y COLADO DE COLUMNAS

Para la cimentación se cavaron hoyos de 45 cm de profundidad separados a 2.5 metros uno de otro. Posteriormente se colocaron y colaron cada una de las columnas del invernadero cuidando la alineación, cuadratura y forma del invernadero.

INSTALACIÓN DE ARCOS Y REFUERZOS

Una vez coladas las columnas, se instalaron y ensamblaron las uniones laterales y arcos a lo largo y ancho del invernadero y con ello se tuvo la estructura metálica de acero.

INSTALACIÓN DE CANALETA Y DRENES HACIA LA CISTERNA

Una vez ensamblados y asegurados todos los elementos de la estructura metálica de acero, se procedió a colocar la canaleta de recolección y conducción de agua de lluvia, hacia la cisterna, cuidando un perfecto sellado en las juntas y uniones en las canaletas.

INSTALACIÓN DE CUBIERTAS LATERALES Y TECHUMBRE

Mediante ganchos, piezas de espirales, tuercas y tornillos, sobre la estructura metálica de acero, se llevo a cabo la instalación de la malla antiáfidos en los laterales y el hule plástico (C720UV2) sobre el techo.

INSTALACIÓN DE LA PUERTA DE ACCESO

Se instaló una puerta de acceso que es el espacio único para el acceso al invernadero. En esta puerta se tiene adecuaciones para hacer la esterilización del calzado de las personas que ingresan al invernadero.

INSTALACIÓN DE LAS BAJADAS Y CONDUCCIONES DEL AGUA HACIA LA CISTERNA

Por cada lado del invernadero en sentido longitudinal, se instalaron las canaletas, en un extremo (punto mas bajo de la línea de canaleta) se conectaron las piezas y conductos para llevar el agua de lluvia hacía la cisterna.

3.4.4 Procedimiento ilustrativo de la implementación del invernadero



Preparación de piezas y elementos para la estructura metálica de acero

DESARROLLO EXPERIMENTAL DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA Y SUBIRRIGACIÓN PARA ZONAS ARIDAS



Excavación de hoyos de 45 cm de profundidad y separados a 2.5 metros



Colocación y colado de columnas y refuerzos laterales



Ensamble de largueros y arcos para uniones de las columnas en ambos sentidos



Instalación de canaleta de recolección y conducción de agua de lluvia

DESARROLLO EXPERIMENTAL DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA Y SUBIRRIGACIÓN PARA ZONAS ARIDAS



Instalación de malla anti afidos en laterales hule plástico sobre el techo



Instalación para la conducción y bajada del agua de lluvia a la cisterna

Ilustración 4. Procedimiento ilustrativo de la implementación de los invernaderos

3.5 Instalación de sistema de Subirrigación en Invernadero 1

Se implementaron dos módulos con este sistema de riego en el invernadero 1

3.5.1 Descripción del sistema de subirrigación en invernadero 1

El sistema de riego por Subirrigación permite evitar pérdidas de agua por percolación profunda; es decir, se trata de un sistema cerrado en el estrato inferior del suelo. Para evitar las pérdidas de agua hacia los estratos inferiores del suelo, se colocó una frontera impermeable a 1 metro de profundidad mediante la instalación de una geomembrana impermeable en fondo y paredes. Esta barrera impermeable evita la pérdida de agua por percolación profunda y mantiene la humedad del suelo en el sistema radicular. Con el sistema de subirrigación, el riego de cultivos se suministra desde el subsuelo a partir de una red interna de tubería subterránea en el estrato impermeable. El suministro del agua a la zona radicular se presenta por medio de ascenso capilar

DESARROLLO EXPERIMENTAL DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA Y SUBIRRIGACIÓN PARA ZONAS ARIDAS

Para áreas con cultivo masivo es necesaria una red de tubos que mantenga los niveles freáticos según lo requiera el cultivo. Para los frutales es suficiente con dejar un punto con perforación adecuada para el suministro de la humedad a cada planta.

3.5.2 Caracterización del sistema de subirrigación en invernadero 1

Para sistema de Subirrigación, se definieron dos módulos de 9m X 49m, dimensiones que resultan al dejar libre las líneas de las columnas laterales del invernadero con 0.5 metros de cada lado para proteger la cimentación de la estructura y la línea central.

En las figuras siguientes se muestra el esquema de la planeación propuesta para la instalación del sistema y un corte del sistema de Subirrigación.

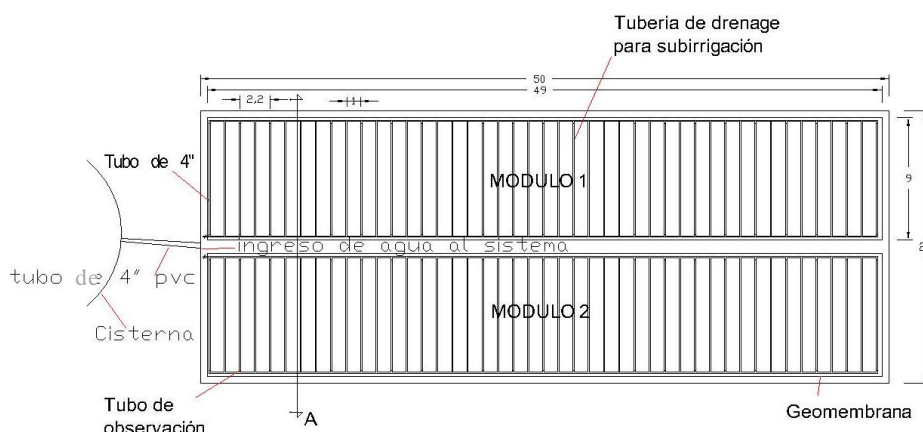


Figura 11. Vista de planta del sistema de subirrigación.

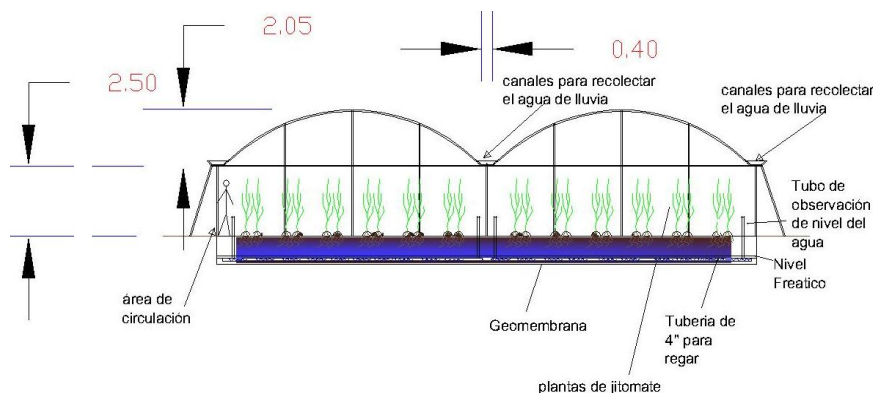


Figura 12. Corte del sistema de subirrigación

La fuente de abastecimiento de agua está compuesta por una cisterna de 500 m³ que se encuentra cercana al invernadero. Esta cisterna ha sido llenada de agua mediante un sistema de captación de agua de lluvia desde los techos del invernadero. El agua para regar el invernadero se conduce y distribuye a las áreas de cultivo a través de una tubería de 4 pulgadas.

3.5.3 Procedimiento de implementación del sistema de subirrigación en invernadero 1

El proceso de instalación de este sistema, consistió de las siguientes etapas:

1. Trazo de dos módulos de Subirrigación
2. Movimiento de tierras
3. Colocación de la Geomembrana
4. Instalación de la tubería de Subirrigación
5. Instalación de las líneas de abastecimiento de agua al sistema.

1. Trazo de los módulos de Subirrigación

Con el fin de llevar a cabo el movimiento de tierras, dentro del área del invernadero, fueron delimitados dos módulos, que fueron definidos por la línea de columnas laterales y la central. En el contorno de cada superficie se dejó 0.5 metros con el fin de no afectar la cimentación de las columnas. Cada módulo tiene como dimensiones 9 metros de ancho X 49 metros de largo.

2. Movimiento de tierras

El terreno natural donde se implementó el invernadero tenía una pendiente de 1.5% (0.735 metros); por lo tanto, para lograr una plantilla uniforme en toda el área del módulo de 49 metros X 9 metros fue necesario hacer un corte 1.0 metro en la parte más alta y de 0.25 metros en la parte más baja. Con estos cortes se logró obtener una capa de suelo agrícola de 1 metro de altura lo cual estaba contemplado en el diseño del proyecto.

DESARROLLO EXPERIMENTAL DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA Y SUBIRRIGACIÓN PARA ZONAS ÁRIDAS

Con lo anterior, el volumen de excavación fue de 275 m³ de tierra, mismos que se convirtieron en 358 m³ considerando un coeficiente de abundamiento de 30% aproximadamente. Para desplazar temporalmente el suelo del módulo 1 al módulo 2, para dar oportunidad de colocar la geomembrana sobre la superficie horizontal afinada perfectamente y, sobre ella, la tubería de Subirrigación, se utilizó un cargador frontal. Una vez realizado el desplazamiento de material, nivelado y afinado el fondo y paredes del suelo del módulo 1, se procedió a la colocación de la geomembrana y sobre esta, la tubería de Subirrigación.

Asimismo, después de colocar y nivelar la geomembrana, el material que había sido desplazado temporalmente al módulo 2, se trasladó al módulo 1, pero ahora sobre la geomembrana y tubería de Subirrigación.

Para completar 1 metro de suelo uniforme en los dos módulos fue necesario trasladar material adicional al de ambos cortes módulo 1 y 2, desde la parcela del usuario, unos 180 m³, para completar una capa faltante de unos 40 centímetros.

Una vez terminado de terraplenar con el mismo suelo del invernadero sobre la geomembrana del módulo 1, se procedió a repetir el proceso en el módulo 2, por la uniformidad de la parcela las cantidades de corte y terraplenén fueron aproximadamente las mismas del módulo. Para abrir el espacio para la colocación de la geomembrana en este módulo, el suelo fue depositado fuera del invernadero.

Así, Una vez de afinar el fondo y de colocar la tubería de subriego de 4 pulgadas, el material depositado fuera, fue regresado para rellenar 1 m de espesor en el módulo 2 colocándolo sobre la geomembrana y la tubería de Subirrigación para sepultar el sistema.

Se tuvo especial cuidado al mover el material sobre la tubería con el cargador frontal, dado que esta tiene un peso aproximado de 10 toneladas, cuidando que no se dañara la tubería y la geomembrana. Para ello se hicieron pruebas previas a la circulación de dicha máquina sobre el terraplén y las tuberías, comprobando que con una capa de suelo sobre las tuberías de 70 cm, los movimientos sobre las instalaciones no originan ningún desperfecto.

3. Colocación de la geomembrana

Considerando que las paredes verticales a impermeabilizar son de 1 metro, la geomembrana utilizada fue de 51 metros de largo por 11 de ancho, estas dimensiones garantizan el recubrimiento de las paredes sobre el contorno del sistema de Subirrigación.

DESARROLLO EXPERIMENTAL DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA Y SUBIRRIGACIÓN PARA ZONAS ÁRIDAS

Las dos piezas de geomembrana fueron adquiridas con una empresa especializada en la fabricación de este tipo de materiales ubicada en Morelia, Michoacán. Llamada Embalses de Michoacán, S A de C V. Tiene un espesor de 0.8 mm y tiene una duración garantizada a la intemperie de 15 años y en el subsuelo de unos 30, según datos de la propia empresa.

El peso de la paca de geomembrana de las dimensiones dadas es de 200 kg. Por lo que fue necesario trasladarla utilizando una retro excavadora en su cucharón.

Para su colocación se requirieron unas 5 persona, una vez desenvuelta, solo fue necesario tirar a lo largo del piso afinado y con un hilo en el contorno indicador del nivel, se ajusto y nivelo perfectamente si mayores complicaciones.

La afinación del piso debe ser con mucha precaución y calidad, asegurando no dejar piedras que puedan perforar la geomembrana. Una piedra angulosa en contacto con la geomembrana, una vez de contener suelo y agua sobre esta, se pone en riesgo alguna hendidura por donde pueda fugarse el agua.

4. Instalación de la tubería de Subirrigación

Una vez colocada perfectamente la geomembrana sobre el piso del área de cultivos, se procedió a instalar la tubería de Subirrigación. Se utilizó tubería de 4 pulgadas para drenaje agrícola con calcetín. El calcetín sirve para evitar el taponamiento de las perforaciones que tiene el tubo a lo largo de su longitud por el mismo suelo cuando se recubre o se terraplena sobre él. Con esta membrana permeable se garantiza el ingreso y salida del agua sin obstrucciones durante los años de funcionamiento.

La tubería de Subirrigación fue instalada a lo largo de los 49 m, colocando un tubo a cada metro de separación para garantizar el ascenso capilar de manera uniforme, estos tubos transversales se conectaron a través de tees especiales a la tubería perimetral del sistema. También fueron instalados con el mismo material y a cada 2 metros de separación tubos verticales de observación de los niveles del agua durante los riegos.

A través de estos tubos se puede calibrar el gasto que se debe aplicar sin que se derrame el agua; además, de vigilar el nivel freático dentro del sistema para mantener en óptimas condiciones de humedad a las plantas.

Las cantidades utilizadas de tubería y piezas especiales en cada uno de los módulos fueron las siguientes:

Tabla 8. Materiales de tubería y piezas especiales en cada modulo

Descripción	Unidad	Cantidad
Tubería de drenaje con calcetín de 4 pulgadas (para el sentido transversal)	m	441
Tubería de drenaje con calcetín de 4 pulgadas (para el tubo perimetral)	m	116
Tees especiales de 4 pulgadas para la red	Pieza	88
Tees especiales de 4 pulgadas para los tubos de observación a cada dos metros	Pieza	90

Para los dos módulos se adquirieron el doble de las cantidades que se muestran en el cuadro anterior.

El procedimiento de instalación del tubo de Subirrigación es sencillo ya que no requiere de pegamentos sino solo se ensamble. Con un ligero empuje manual se enganchan las piezas especiales con los tramos de tubo. De manera que rápidamente se logra instalar una gran cantidad de tubería de este tipo.

La resistencia a la deformación de la tubería es buena; sin embargo, es débil a la compresión externa excesiva, por ello fue necesario tener especial cuidado al colocar la tierra sobre los tubos cuando se lleva cabo con maquinaria. No obstante, para asegurar que no se pondría en riesgo el colapso de la tubería al pasar el cargador frontal durante los trabajos, se hicieron pruebas de resistencia cuando se pasa un equipo pesado sobre el terraplén con tubería enterrada, y se comprobó que una capa de suelo de 70 cm es suficiente para circular sobre el tubo sin que registre deformaciones.

5. Instalación de las líneas de abastecimiento de agua al sistema de Subirrigación.

Los dos módulos del invernadero tienen sistemas de Subirrigación independientes, de manera que la aplicación de agua durante un subriego puede llevarse a cabo simultáneamente o de manera independiente. Esto debido a que el agua puede controlarse mediante válvulas de control de flujo que fueron instaladas para cada modulo del sistema.

El agua se extra desde una cisterna de 500m³ de capacidad a través de un tubo de 6 pulgadas y mediante una reducción se entrega el agua a través de un tubo de 4 pulgadas controlado por válvulas.

3.5.4 Procedimiento ilustrativo de la implementación del sistema de subirrigación en invernadero 1



Cargador frontal realizando el corte del suelo para instalar el sistema



Afinando el piso para la colocación de la geomembrana



Traslado de la geomembrana para su colocación



Instalación de la geomembrana sobre el piso preparado



Instalación de tubos de Subirrigación (separación 1 metro)



Instalación de piezas especiales de la red de Subirrigación

Ilustración 5. Procedimiento ilustrativo de la implementación del sistema de subirrigación en invernadero 1

3.6 Instalación de sistema de riego mediante TDF en invernadero 2

Se implementaron dos módulos iguales de 9 X 49 metros con un TDF cada uno en el lado de 9 metros de ancho de cada modulo dentro del invernadero 2.

3.6.1 Descripción del sistema de riego mediante TDF en invernadero 2

El sistema de riego TDF para invernaderos con agua de lluvia se planteo para ser aplicado mediante el método de riego intermitente con cintilla. Para ello, fue necesario instalar en cada modulo al interior del invernadero 2 dos tanques TDF's. Este sistema de riego consta de un dispositivo llamado Tanque de Descarga de Fondo o TDF, tubería de PVC de 4 pulgadas y cintilla para riego localizado. Durante el evento de riego se presentan dos fases producidas por un sifón autocebante de movimiento vertical instalado en el interior del tanque.

En la primera fase, el nivel del agua y el sifón ascienden hasta un nivel de llenado previamente definido. Una vez alcanzado este nivel se produce el cebado del sifón y con ello la descarga del agua hacia la tubería y cintilla regante

La instalación de este sistema de riego es muy simple, consiste en un tubo que entrega el agua a cada uno de los tanques TDF's, y este, mediante el mecanismo de apertura y cierre, entrega el agua a través de la tubería y cintilla regante (por goteo).

3.6.2 Caracterización del sistema riego mediante TDF en invernadero 2

En la figura siguiente se muestra un esquema de la instalación de riego intermitente propuesto.

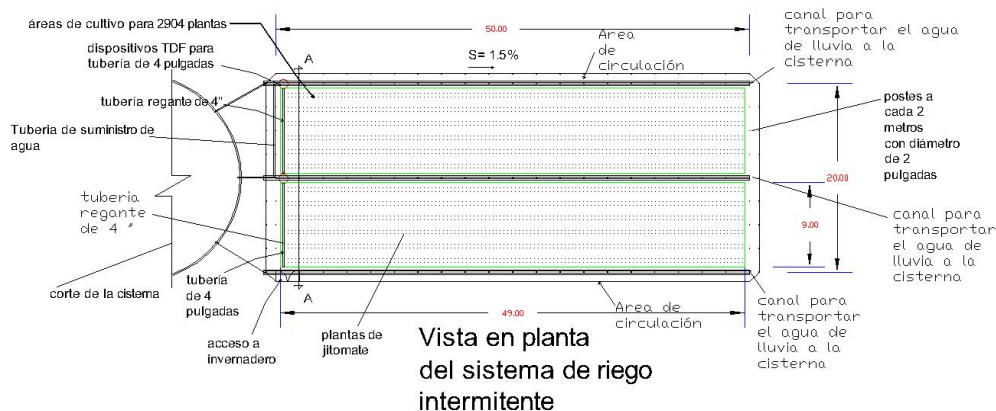


Figura 13. Vista de planta del sistema de riego intermitente para invernaderos.

DESARROLLO EXPERIMENTAL DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA Y SUBIRRIGACIÓN PARA ZONAS ARIDAS

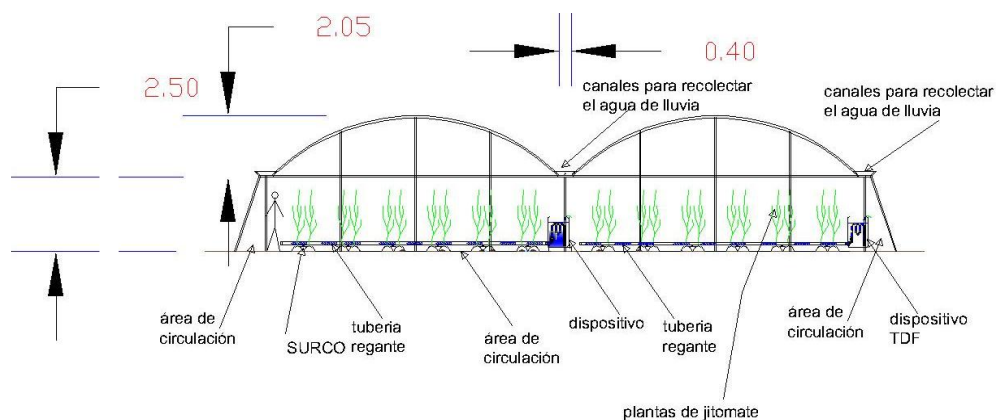


Figura 14. Corte del sistema de riego intermitente para invernaderos

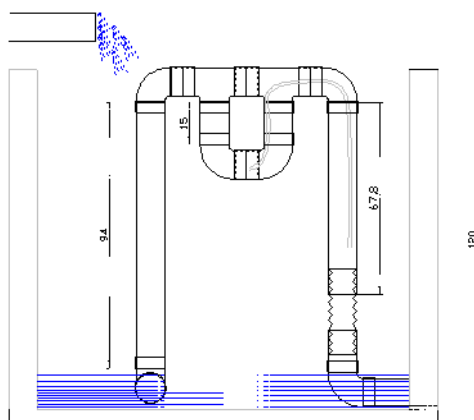


Figura 15. Corte de los elementos (sifón interno) del sistema de riego intermitente para invernaderos.

Tabla 9. Generales del tanque de 1.5m³.

Número de tanques	2
Diámetro del tanque TDF para invernadero	1.27m
Altura del tanque TDF para invernadero	1.2m
Motobomba de 1 pulgada para abastecer a los TDF	1
Rollo de cintilla de baja carga para goteo	1
Dispositivos de apertura y cierre de 4 pulgadas	2

3.6.3 Equipo, herramientas y materiales para la implementación del sistema riego mediante TDF en invernadero 2

DESARROLLO EXPERIMENTAL DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA Y SUBIRRIGACIÓN PARA ZONAS ARIDAS

Un tanque de 1.5m³ se puede implementar en 4 horas, para ello se requiere de una brigada compuesta por: 1 albañil y 3 Peones.

El equipo, herramienta y materiales principales son:

- 1 pico y 2 palas
- 1 nivel fijo automático para nivelar
- 1 cizayas
- 1 Equipo de albañil puesto
- 1 embudo para la colocación de mezcla del muro capuchino
- 1 cinta de 3 metros y 2 amarradores de alambre
- 1 escalera, 1 carretilla y 1 motobomba de 1 pulgada para abastecer a los TDF
- 400 tabiques rojos, 6 bultos de cemento y 3 bultos de mortero
- 1 rollo de cintilla de baja carga para goteo
- 2 dispositivos de apertura y cierre de 4 pulgadas

3.6.4 Procedimiento de implementación del sistema riego mediante TDF en invernadero 2

El proceso de instalación de este sistema, consistió de las siguientes etapas:

1. Ubicación del tanque riego
2. Limpieza, trazo, nivelación y compactación del terreno
3. Armado y colocación de la malla para el piso
4. Armado y colocación de la malla para el cilindro
5. Colado de la losa del fondo
6. Levantamiento del muro capuchino
7. Repellado externo
8. Repellado interno
9. Acabados y terminación del tanque
10. Armado y colocación del sifón interno (4")

- 1 Ubicación del tanque riego

Debe ubicarse en suelo resistente, cercano al área cultivable (interior al invernadero) donde se aplicara el agua de riego mediante tubería de compuerta y cintillaregante. No se recomienda ubicarse en lugares lejanos o más bajos a la superficie del invernadero.

2. Limpieza, trazo, nivelación y compactación del terreno

Se limpió una superficie de (Diámetro+1 metro) X (Diámetro+1 metro) y nivelar.

Se fijo una varilla de 50 centímetros en el centro de esta superficie, este punto servirá como centro del tanque

El trazo de la circunferencia del tanque se realizó utilizando un hilo de longitud igual al radio, para ello se ato el hilo a la varilla referenciada en el punto anterior y con el otro extremo marcar con cal la circunferencia del tanque.

Considerando la circunferencia trazada, se realizó la nivelación del terreno y posteriormente se apisono perfectamente y agregó una cama delgada de grava

(Diámetro+1 metro); representa el diámetro del tanque “D” más 1 metro. Para el Tanque TDF 1.5 m³, se tiene: $D = 1.30$ y $r = 0.65$ m. La altura “H” del tanque es de 1.2 metros.

3. Armado y colocación de la malla para el piso

Utilizando malla electrosoldada calibre 6, se cortaron y armaron las partes para el piso y para el cilindro que constituyen el cuerpo del tanque.

Se cortó 1 tramo de longitud 30 centímetros mayor al diámetro del tanque y se colocó sobre el centro de la circunferencia trazada

Se cortaron otros tramos y fueron colocados sobre las orillas para cerrar la base (los huecos fueron rellanados con los sobrantes que se recortaron de las esquinas de la malla)

Se marcó nuevamente con cal la circunferencia para colocar el cilindro del cuerpo estructural del tanque.

4. Armado y colocación de la malla para el cilindro

Se cortó un tramo de longitud igual a $[(\pi \cdot \text{Diámetro}) + \text{traslape}]$ para formar el cilindro. Donde, $\pi = 3.1416$. El traslape se recomienda de 2 cuadros (30 centímetros)

Se colocó este tramo a la marca de cal para formar el cuerpo estructural de tanque y se amarró con alambre recocido la zona de traslape del cilindro formado.

DESARROLLO EXPERIMENTAL DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA Y SUBIRRIGACIÓN PARA ZONAS ARIDAS

La malla de la base se amarro también a la malla que formo el cilindro y los sobrantes se cortaron en forma de T, doblándolos hacia arriba para ser amarrados a la malla que forma el cilindro.

Se recomienda colocar tensores alrededor del cilindro de malla para evitar deformaciones

5. Colado de la losa del fondo

Se marcaron guías (maestras) de 10 cm de altura distribuidos en el interior del cilindro

Se aplicó mezcla (espesor 10 cm) en las guías (maestras)

La aplicación de la siguiente mezcla fue distribuida en toda la superficie de fondo del tanque auxiliándose con las guías (maestras). Posteriormente se apisono el piso.

Se aplico una lechada (esta etapa se puede dejar posteriormente, pe, cuando ya se tenga el repellado interno).

Debe dejarse la preparación para la salida del agua mediante el sifón de PVC

6. Levantamiento del muro capuchino

Se humedecieron los tabiques para aumentar su adherencia e se introdujeron al interior de la estructura formada con la malla electrosoldada

Tanque 1.5 m³ ---- 200 tabiques

Se coloco mezcla con un embudo y en seguida fueron colocados cada tabique de forma capuchina (de canto) por dentro de la malla

7. Repellado externo

Esta etapa necesaria con la finalidad de cubrir la malla de la estructura cilíndrica (parte exterior del tanque) y sellar para impedir filtraciones (parte interna en el tanque).

El repellado y acabado exterior debe cubrir la malla para protegerla de la intemperie.

DESARROLLO EXPERIMENTAL DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA Y SUBIRRIGACIÓN PARA ZONAS ARIDAS

1er capa.- (Agua-cemento-arena), se repello con una capa delgada para cubrir la malla y asperezas que quedaron al colocar los tabiques.

2da capa.- (Agua-cemento-arena cribada), se aplico una capa delgada (3mm) con llana con el fin de compactar la capa y tapar los poros (utilizar regla o madera).

3ra capa.- Agua-cemento-arena cribada), se aplico una capa delgada (3mm) con llana con el fin de compactar la capa

8. Repellado interno

Los acabados en el interior deben evitar filtraciones. Se puede realizar a mano con cuchara o utilizando un compresor y pistola para tirol, en ambos casos se aplica una cubierta delgada de mezcla de arena cribada con cemento (relación 5 a 1).

1er capa.- (Agua-cemento-arena), Se repello una capa delgada para uniformizar las asperezas que quedaron al colocar los tabiques.

2da capa.- (Agua-cemento-arena cribada), se aplico una capa delgada (3mm) con llana con el fin de compactar la capa y tapar los poros.

3ra capa.- (Agua-cemento) se coloco una capa delgada (3mm) mediante llana compactando la capa.

4ta capa.- Se repitió el proceso de la 2da capa

5ta capa.- Se repitió el proceso de la 3ra capa

9. Acabados y terminación del tanque

Se recomienda pintar el tanque para ofrecer una mejor imagen y protegerlo de la intemperie

El tanque quedo listo para instalar el sifón interno de PVC.

Esta alternativa de tanques es muy atractiva y con gran potencial de implementación en México, pues se cumple ampliamente un proceso de innovación tecnológica al reducir los tiempos de construcción, reducir los costos y facilitar los procesos y procedimientos constructivos

10. Armado y colocación del sifón interno (4")

Una vez concluido el tanque de almacenamiento se procedió a armar el sifón interno con tramos PVC (6"), codos de 90° (6") y Te's 90° (6").

Tabla 10. Elementos de PVC (4") para armar el sifón interno del tanque TDF.

ELEMENTO	PIEZAS
Codos	5
Te's	3
Tramos PVC 10 cms	4
Tramos PVC 20 cms	1
Tramos PVC 70 cms	1
Tramos PVC 55 cms	1
Tramos PVC 40 cms	2

Concluido el armado del sifón, se coloco y fijó en el interior del tanque

3.6.5 Procedimiento ilustrativo de la implementación del sistema riego mediante TDF en invernadero 2



Limpieza, trazo, nivelación y compactación del terreno



Armado de la losa o piso

DESARROLLO EXPERIMENTAL DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA Y SUBIRRIGACIÓN PARA ZONAS ARIDAS



Armado del cilindro



Colado de la losa del fondo



Levantamiento de muro capuchino



Colado parte externa del tanque



Terminado y pintado del tanque



Colocación y fijación del sifón interno



Riego con TDF y tubería de compuerta en surcos



Ilustración 6. Procedimiento ilustrativo de la implementación del sistema de riego mediante TDF en invernadero 2.

3.7 Elaboración de informes y manuales de instalación

Desarrollo y elaboración de las recomendaciones y metodología de diseño de los sistemas de invernaderos, captación de lluvia y conducciones.