



# **COORDINACIÓN DE RIEGO Y DRENAJE**

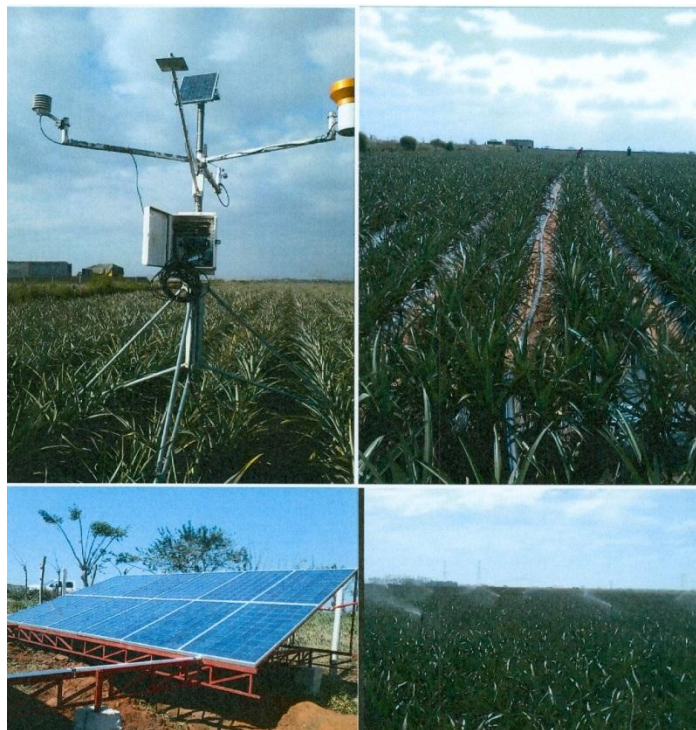
## **SUBCOORDINACIÓN DE CONTAMINACIÓN Y DRENAJE AGRÍCOLA**

### **INFORME FINAL**

#### **RIEGO PRESURIZADO CON USO DE ENERGÍA RENOVABLE**

##### **PROYECTO**

##### **RD-1231.2**



Marzo. 2013.

## Directorio del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

### **Director General**

M.I. Víctor Javier Bourguett Ortíz

### **Coordinador de Riego y Drenaje**

Dr. Nahun Hamed García Villanueva

### **Subcoordinador de Contaminación y Drenaje Agrícola**

Dr. Heber Saucedo Rojas

Dr. J. Javier Ramírez Luna.-Jefe de proyecto  
Subordinación de Contaminación y Drenaje Agrícola

### **Equipo técnico**

M.C. Olga Xóchitl Cisneros Estrada Esp. En Hidráulica de la Subcoordinación de Contaminación y Drenaje Agrícola

### **Apoys:**

Ing. Ivonne Vega Ramírez

Ing. Cesar Soriano Catana

## **RESUMEN EJECUTIVO**

En el sol está en el origen de todas las energías renovables. La energía solar se fundamenta en el aprovechamiento de la radiación solar para la obtención de energía que podemos aprovechar directamente al convertirla en electricidad. La energía solar fotovoltaica permite transformar en electricidad la radiación solar a través de unas células fotovoltaicas o placas solares. La electricidad producida puede usarse de manera directa, o bien ser almacenada en acumuladores para usarse en las horas nocturnas. La energía solar fotovoltaica tiene numerosas aplicaciones. • Funcionamiento de aparatos de consumo pequeño. • Electrificación de viviendas o núcleos de población aislados. • Señalizaciones terrestres y marítimas. • Comunicaciones o iluminación pública. • Bombeo de agua para riego (presurizado y plasticultura en zonas aisladas)

La energía renovable es aplicable en la generación de iluminación, en la desalación y depuración de agua, en el bombeo agrícola, en la producción de peces y en general toda aplicación que requiera sustituir el suministro de energía eléctrica convencional.

Como resultado del proyecto se puede mencionar lo siguiente:

Se instaló un sistema de riego con energía renovable para el bombeo de agua, en cultivo de piña; dando seguimiento al cultivo de piña para la determinación del coeficiente de cultivo, que se tradujo en la determinación de la lámina de riego requerida que fue del orden de 2mm aplicada en un tiempo de 50 minutos de riego diario.

## INDICE DE CONTENIDO

|   |    |
|---|----|
| <b>RESUMEN EJECUTIVO</b> .....  | 3  |
| 1. ANTECEDENTES .....   | 5  |
| 2. OBJETIVO .....   | 5  |
| 3. RESULTADOS .....   | 5  |
| 3.1 DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE CULTIVO CON TECNOLOGIA TDR (REFLECTIVIDAD TEMPORAL) .....  | 5  |
| 3.2 INSTALACIÓN DE ESTACIÓN METEOROLÓGICA .....   | 8  |
| 3.3 REGISTRO DE DATOS DE LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA.....   | 8  |
| 3.4 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN HORARIA .....   | 10 |
| 3.5 PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN DIARIA.....  | 13 |
| 3.6 PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN DIARIA GENERAL PARA LA PRECIPITACION, EL ETO, COEFICIENTE DE CULTIVO Y EL CONTENIDO DE HUMEDAD ..... | 15 |
| 3.7 CONSUMO PROMEDIO SEMANAL GENERAL.....   | 18 |
| 3.8 CONSUMO PROMEDIO MENSUAL GENERAL PARA LA PRECIPITACIÓN, ETO, COEFICIENTE DE CULTIVO Y CONSUMO DE HUMEDAD .....                    | 19 |
| 4. CONCLUSIONES .....   | 21 |

## **1. ANTECEDENTES**

Experiencias en el Bajo Papaloapan indican que existe agua en suficiencia y calidad en el subsuelo, a profundidades promedio de 80 metros y con gastos de entre 40 y 60 litros por segundo, suficientes para regar por aspersión una superficie aproximada de 100 hectáreas o 250 hectáreas si se utiliza el goteo o más todavía si se agrega al sistema de manejo el acolchado plástico y la malla-sombra, ya que la eficiencia del agua se duplica, con los beneficios económicos y ecológicos que ello implica. Para las condiciones de los suelos donde se cultiva piña en México, los sistemas de riego recomendados son preferentemente, goteo, mientras que aspersión sería la opción secundaria.

La experiencia y opinión del agricultor indican que la piña tiene la capacidad de extraer humedad del agua que se condensa del ambiente o la que se acumula de la precipitación sobre las hojas y tallo-raíces de la piña, en la realización del proyecto se tomará en cuenta la opinión del productor sobre el manejo del cultivo así como el paquete tecnológico recomendado por las instituciones, donde la innovación de presentará en el suministro de energía mediante el uso de generadores de energía renovable.

## **2. OBJETIVO**

El objetivo del presente proyecto será dar el seguimiento en campo del cultivo de piña, para determinar el coeficiente del cultivo.

## **3. RESULTADOS**

### **3.1 DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE CULTIVO CON TECNOLOGIA TDR (REFLECTIVIDAD TEMPORAL)**

El proyecto consiste básicamente en construir un cárcamo con galerías filtrantes, donde la fuente de abastecimiento es una laguna cercana a la parcela. De acuerdo con el requerimiento de agua del cultivo de piña, el agua se extraerá de la laguna con un sistema de bombas de corriente directa.

La demanda de riego se calculó para suministrar el agua a requerimiento máximo en la superficie establecida de 6 ha. El sistema de bombas funcionó con la energía generada con los paneles fotovoltaicos y aerogeneradores para el suministro en

línea del agua que alimentó al sistema de riego. Un conjunto de baterías se utilizó como complemento al suministro diario de riego. El suministro de fertilizante en línea se aplicó con apoyo del bombeo y suministro de energía renovable con la instalación respectiva.

El paquete tecnológico aplicado consistió de la aplicación de fertilizantes, hormonas y pesticidas, acolchado, malla sombra y jornales, esto último aportado por el usuario ya que no formaba parte del presupuesto del proyecto.

La solución se distinguió en dos partes por un lado el sistema de riego (de alta presión es decir goteo, micro aspersión o aspersión subfoliar) y suministro energético híbrido mediante el uso de energía renovable y fósil, ésta última requerida incluso para cuestiones de mantenimiento del sistema de energía.

Para complementar el paquete tecnológico en las condiciones rurales, en términos de escasez de derivaciones y redes de electricidad, del cultivo de la piña en la zona más productiva de México e incrementar la producción potencialmente hasta en un 30% es requerido el suministro de agua al cultivo en los periodos de fin de octubre a fin de mayo o mediados de junio.

El conocimiento del índice de consumo de agua por los cultivos y las características de retención del agua fue fundamental para diseñar el sistema de suministro del agua y programar el riego. La estimación del consumo de agua por las plantas se llevó a cabo, calculando la evaporación potencial y modificando su valor de acuerdo con la succión de la humedad del suelo, a la cobertura vegetal de las plantas en sus etapas de crecimiento y a los cambios fisiológicos de la misma, aunque en la mayoría de los casos se trabajó con valores medios.

El cálculo de la dotación para riego se realizó mediante la combinación de la metodología de la evapotranspiración y el Uso Consuntivo, aplicando la fórmula de Blaney y Criddle, fórmulas que dependen de la temperatura media mensual (T), de la altura media de la zona (h) y del coeficiente normal estacional de uso de consumo de los cultivos bajo riego (K).

La evapotranspiración se determinó con apoyo de una estación agro meteorológica calibrada con base en la ecuación de Penman-Monteith.

Para el cálculo de la dotación en base al uso consuntivo, se utilizaron las siguientes fórmulas:  $U_c = K \times E_t$ . Donde;  $U_c$ ; Uso consuntivo (mm); K; Coeficiente de consumo para los cultivos con riego. (Estacional) adimensional;  $E_t$ ; Evaporación potencial de los cultivos.

Coeficientes K para diferentes cultivos en trópico húmedo. Estos coeficientes (K), de uso de consumo para los cultivos bajo riego, son el promedio de los que se encuentran en las diferentes literaturas, los mismos son experimentales, y dependen de varios factores, de la latitud del sitio de cultivo, de la etapa de crecimiento, de la temperatura y de la estacionalidad, entre los más importantes, a continuación se presentan los de los cultivos más comunes.

Cultivo K. Alfalfa 0.85, Aguacate 0.53, Algodón 0.65, Arroz 1.05, Banano 0.90, Cacao 0.73, Café 0.75, Caña azúcar 0.85, Cítricos 0.60, Chayote 0.70, Flores\* 0.70, Frijoles 0.65, Maíz 0.70, Sandía-Melón 0.70, Palma Africana 0.60, Papa 0.70, Pastos 0.80, Hortalizas\*\* 0.70, Sorgo 0.70, Tabaco 0.75, Tomate 0.70, Uvas 0.60

Campos Deportivos 0.70, Frutales\*\*\* 1.00, Cebolla 0.90, Tubérculos\*\*\*\* 0.70.

\*Incluye: Ornamentales, helechos, caña india.

\*\*Incluye: Remolacha, culantro, apio, zanahoria, lechuga, repollo, brócoli, coliflor, rábanos, otros.

\*\*\*Incluye: Piña, papaya, mango, carambola, maracuyá, otros frutales de cubierta verde.

\*\*\*\*Incluye: yuca, tiquizque, malanga, ñampí, camote, jengibre, otros.

Como en la literatura no se encontró información específica de coeficientes (K o Kc) para el cultivo de piña, se propuso realizar una aplicación con tecnología TDR (Time Domain Reflectometry) o bien Reflectometría en dominio temporal, en campo para determinar dicho coeficiente, con base en el manejo del cultivo que actualmente realizan los piñeros de la zona de proyecto. Para esta actividad se requirió instalar una estación meteorológica, 3 sondas TDR a cada 30 cm y almacenar y procesar la información resultante.

Módulo de Riego. Es el caudal por unidad de área, requerido por el cultivo en litros por segundo/ hectárea., y se calculó con la siguiente fórmula:  $Mr = (Uc/Ef) * 0.116$ ; donde; Mr: Módulo de riego; Ef: Eficiencia del sistema de riego; 0.116; Factor de conversión de unidades.

Eficiencias de sistemas de riego; • Micro aspersión 70% y Goteo 90%. Finalmente el cálculo de Caudal requerido para riego (litros por segundo):  $Q = Mr * A$ ; donde; Q; Caudal; Mr; Módulo de riego y A; Área de riego en Hectáreas.

### 3.2 INSTALACIÓN DE ESTACIÓN METEOROLÓGICA

Se instaló una estación meteorológica para medir y registrar regularmente diversas variables meteorológicas. Estos datos fueron utilizados tanto para la elaboración de predicciones meteorológicas a partir de modelos numéricos como para estudios climáticos.



### 3.3 REGISTRO DE DATOS DE LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA

Como un ejemplo, a continuación se presentan los datos arrojado por hora de la estación meteorologica durante el día 24 de diciembre de 2012:

"TOA5","Isla","CR1000","45266","CR1000.Std.18","CPU:imta\_str.CR1","64660","hora"



| FECHA | Temperatura | Humedad relativa | Radiación | Viento |
|-------|-------------|------------------|-----------|--------|
|-------|-------------|------------------|-----------|--------|

Las sondas TDR se organizan así:

| TDR 1 | Med TDR 1 | TDR 2 | Med TDR 2 | TDR 3 | Med TDR 3 | TDR 4 | Med TDR 4 |
|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|
|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|

Existen a su vez valores medios. Máximos y mínimos.

"2012-12-24

14:00:00",0,12.88,13.54,25.06,14.68,0,0.505,295.6,2.038,0,0.031,0.753,0.025,0.741,0.031,0.753,"NAN","NAN",0.033,0.944

"2012-12-24

15:00:00",1,13.5,13.51,24.43,16.68,0,0.881,27.36,3.316,0,0.035,0.76,0.022,0.737,0.03,0.752,"NAN","NAN",0.056,2.941

"2012-12-24

16:00:00",2,13.5,13.5,24.6,15.73,0,0.671,70.05,3.156,0,0.033,0.757,0.021,0.735,0.028,0.748,"NAN","NAN",0.044,2.261

"2012-12-24

17:00:00",3,13.46,13.46,24.09,16.1,0,1.911,44.11,5.393,0,0.034,0.759,0.022,0.737,0.029,0.749,"NAN","NAN",0.116,1.427

"2012-12-24

18:00:00",4,13.46,13.51,22.34,23.56,0,2.528,48.78,5.872,0,0.036,0.762,0.025,0.742,0.032,0.756,"NAN","NAN",0.137,0.496

"2012-12-24

19:00:00",5,13.49,13.53,20.65,27.33,0,1.998,71.19,5.553,0,0.038,0.765,0.027,0.747,0.034,0.758,"NAN","NAN",0.076,0

"2012-12-24 20:00:00",6,13.53,13.56,19.01,31.98,2.020168E-

006,1.507,96.5,4.754,0,0.038,0.767,0.028,0.749,0.034,0.759,"NAN","NAN",0.057,0

"2012-12-24 21:00:00",7,13.56,13.6,17.36,34.26,1.010089E-

006,1.553,83,4.754,0,0.039,0.768,0.029,0.75,0.035,0.76,"NAN","NAN",0.052,0

"2012-12-24

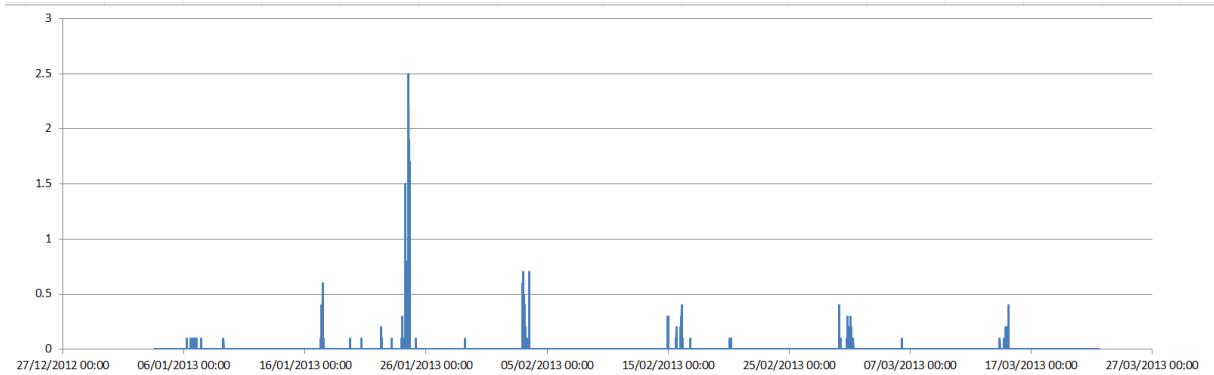
22:00:00",8,13.6,13.63,16.52,36.74,0,1.251,45.88,3.476,0,0.039,0.768,0.03,0.751,0.035,0.761,"NAN","NAN",0.041,0

"2012-12-24

23:00:00",9,13.56,13.66,16.02,36.74,0,1.899,50.51,4.275,0,0.039,0.769,0.03,0.752,0.035,0.761,"NAN","NAN",0.052,0

### 3.4 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN HORARIA

Con los datos obtenidos en campo se observó lo siguiente para la precipitación y las sondas TDR instaladas a 15, 30, 45 y 60 centímetros.

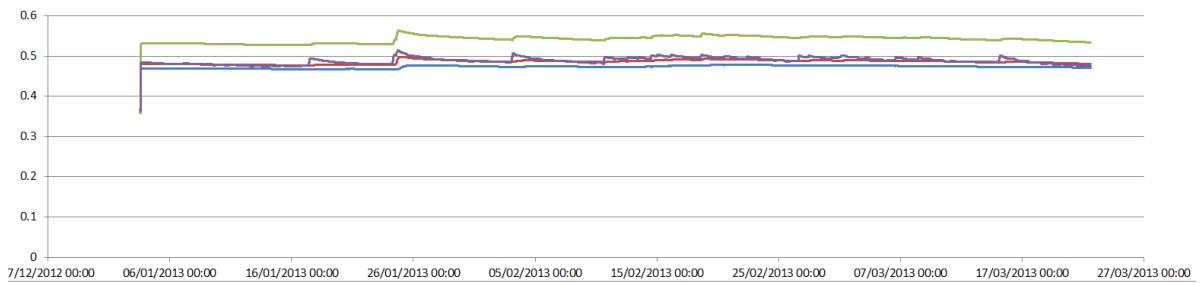


En el periodo de colecta de información se registraron precipitaciones del orden de 2.5 milímetros y la gran mayoría son inferiores o del orden de ½ milímetro.

La colocación de sondas TDR se muestra a continuación:



El consumo de humedad se da en las series temporales para cada sonda:



Para interpretar los resultados cabe señalar que la ubicación del pluviómetro de la estación está a una altura que no permite la colecta de la precipitación de la lámina de riego, como se muestra en la imagen siguiente:



El agricultor inició el riego diario o alternado en 2 o 3 días a partir del 15 de febrero, después de su capacitación en el manejo de las bombas y de las secciones de riego. El usuario aplicó por lo regular una media hora de riego que se calcula corresponde a una lámina precipitada de 1.2-1.4 milímetros. Es evidente que cuando llueve el usuario no riega.

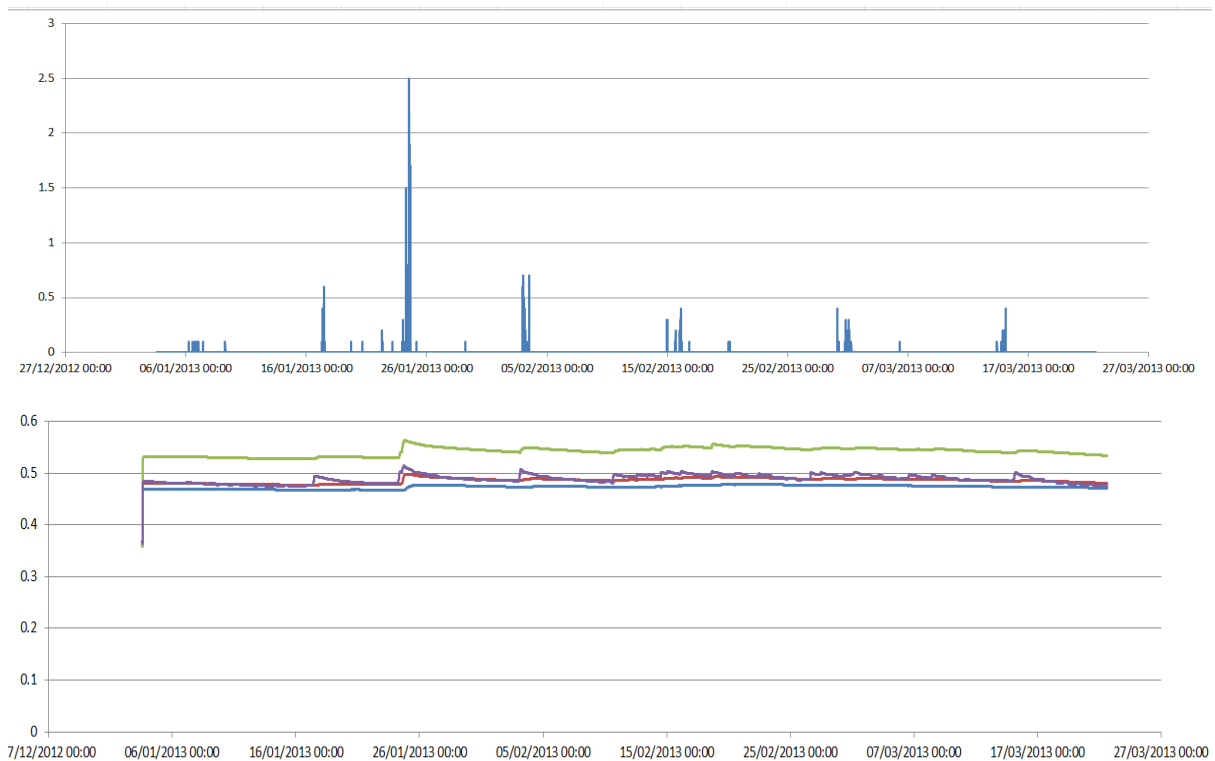
En razón de esta forma operativa del usuario y de las gráficas de precipitación y consumo de agua por la planta se obtuvo un análisis, al juntar las imágenes anteriores.

Por las láminas precipitadas, la humedad preponderante se localizó en el primer estrato del suelo. Donde mayormente se realiza el consumo de humedad.

De las sondas colocadas a 30 y 45 cm se observó que las raíces tienen actividad de extracción hasta estas profundidades del suelo pero con mucha menor actividad.

A los 60 cm, se redujo prácticamente la actividad de extracción pero también el efecto de la precipitación de láminas inferiores al menos inferiores a un milímetro.

Del lado de la extracción se observa que la precipitación de 2.5 milímetros permite al cultivo de piña una disposición de agua del orden de 10 días en las condiciones que prevalecen en dicho periodo que son condiciones de presencia de láminas pequeñas de lluvia. Cuando la precipitación va disminuyendo el usuario practica el riego y suministra el agua a la planta en el primer estrato, permitiendo mantener casi constante la extracción y el suministro (línea superior).



Las líneas media indicaron que el impacto de las láminas precipitadas es aún fuerte y se observa la extracción de la planta al disminuir el contenido de humedad tenuemente. Pero prácticamente permanece constante. Al final del periodo se observó una ligera variación a la baja en términos de disponibilidad del agua.

En la serie temporal de los 60 cm se observa solo el impacto de la lluvia de 2.5 milímetros y prácticamente la extracción se puede considerar nula.

De las láminas precipitadas se puede deducir que una lámina de 2.5 milímetros satisface el requerimiento de riego y sirve para almacenar agua hasta los 60 cm, no siendo el caso de las precipitaciones de menos de 1 milímetro.

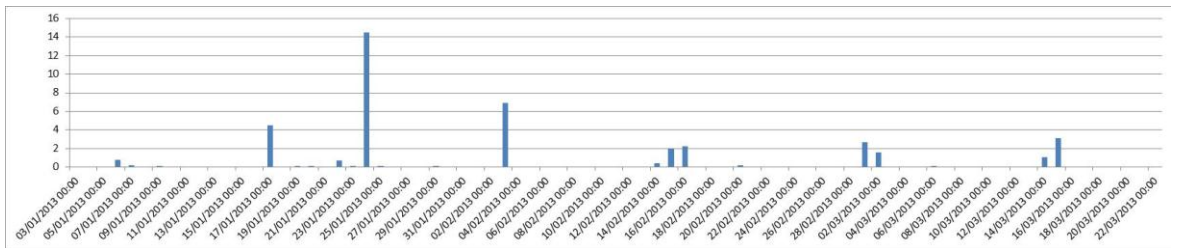
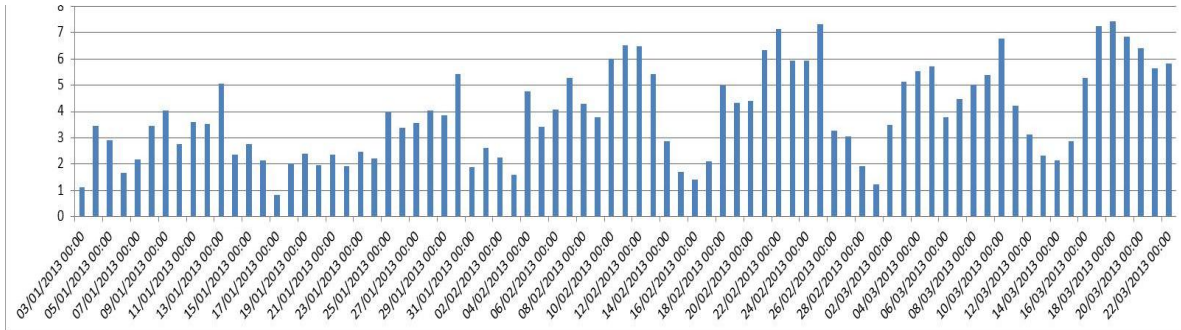
La redistribución del agua en pequeñas cantidades en el suelo se realiza a nivel de la primera capa de manera rápida.

Estas primeras observaciones indicaron que el requerimiento de riego para el cultivo de la piña es del orden de los 3 milímetros diarios, considerando que la piña puede absorber agua tanto por las raíces del suelo como por las adventicias.

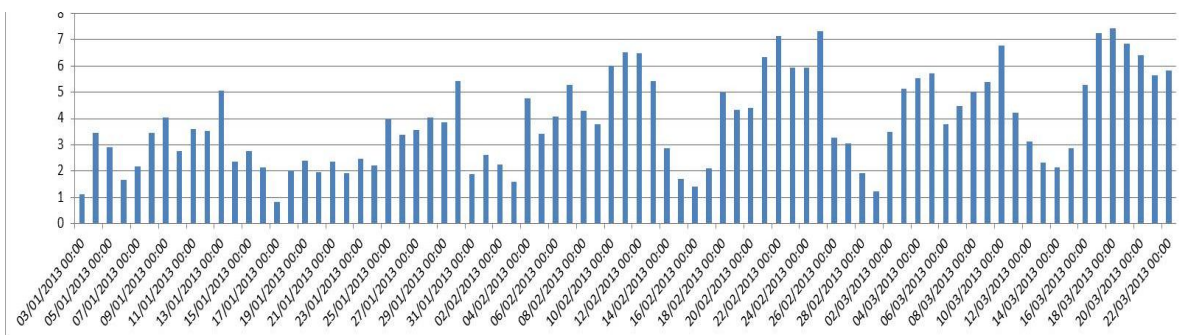
A continuación se muestra el procesamiento de la información diaria (como intervalo de tiempo).

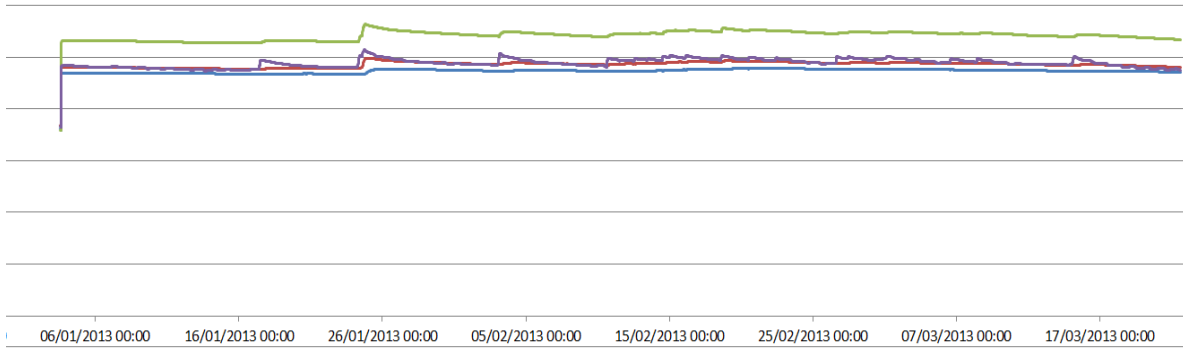
### 3.5 PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN DIARIA

La ETo (mm) diaria se presenta en la siguiente gráfica



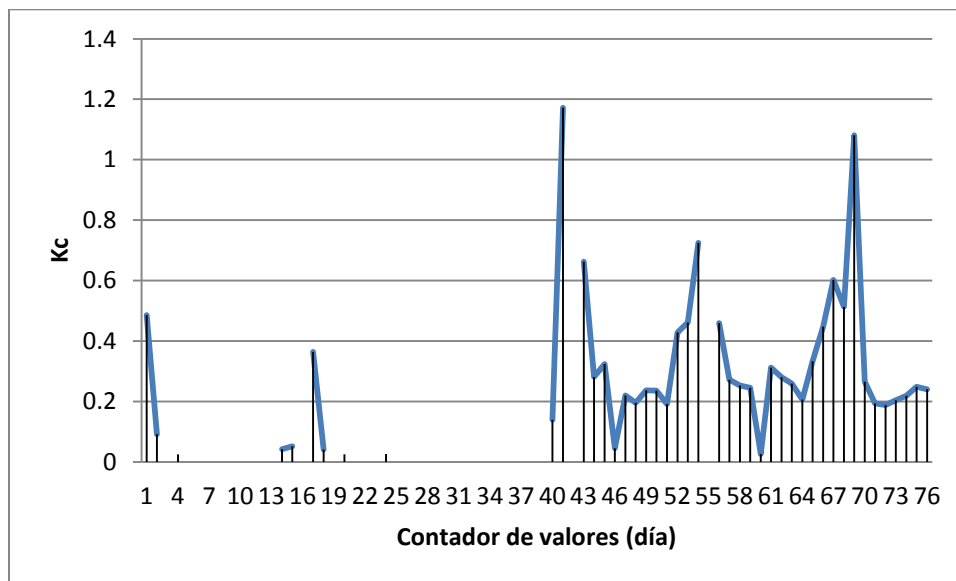
Que guarda cierta correlación con la precipitación diaria como se observa visualmente. Lo que se presenta definitivo es que los días “más” invernales generan menor Evapotranspiración que los “más” primaverales indicando que pudiera incrementarse el consumo de agua por el cultivo de piña.





El consumo de agua puede incrementarse por aumentar la evapotranspiración del cultivo en el curso de la primavera y la ausencia de lluvia. Lo que queda de manifiesto al extraer agua del estrato 30 y 45 cm conforme aumenta la ETo en la gráfica, aunque la tendencia es mínima se muestra significativa, como se indica en la imagen.

Para el coeficiente de cultivo se estimaron valores medios de coeficiente de cultivo en el periodo evaluado de 0.303 para Etos, máxima de 7.44, media de 3.9 y mínima de 0.83, en milímetros, lo que se traduce en láminas de requerimiento de riego mínima de 0.25, media de 1.2 y máxima de 2.25 milímetros



Los picos son resultado normal de días con lluvia donde la planta se permite el desperdicio de agua.

La fórmula aplicada es la relación de evapotranspiración de referencia y el Consumo. El coeficiente observa un comportamiento mayor en época primaveral de suerte que entre mayor es la evapotranspiración de referencia (ETo), mayor es el coeficiente de cultivo, lo que es un comportamiento esperado.

El coeficiente medio observado se traduce en términos prácticos en que con el aumento de las condiciones de mayor evapotranspiración se requiere una lámina del orden de 3.3 milímetros diarios que se pueden aplicar con una hora y 10 minutos de riego.

La piña tiene un comportamiento extraordinario en cuanto a la capacidad de retener la humedad en su estructura (tallo, hojas, raíces) de ahí que se permita un comportamiento del tipo planta del desierto (Fotosíntesis CAM).

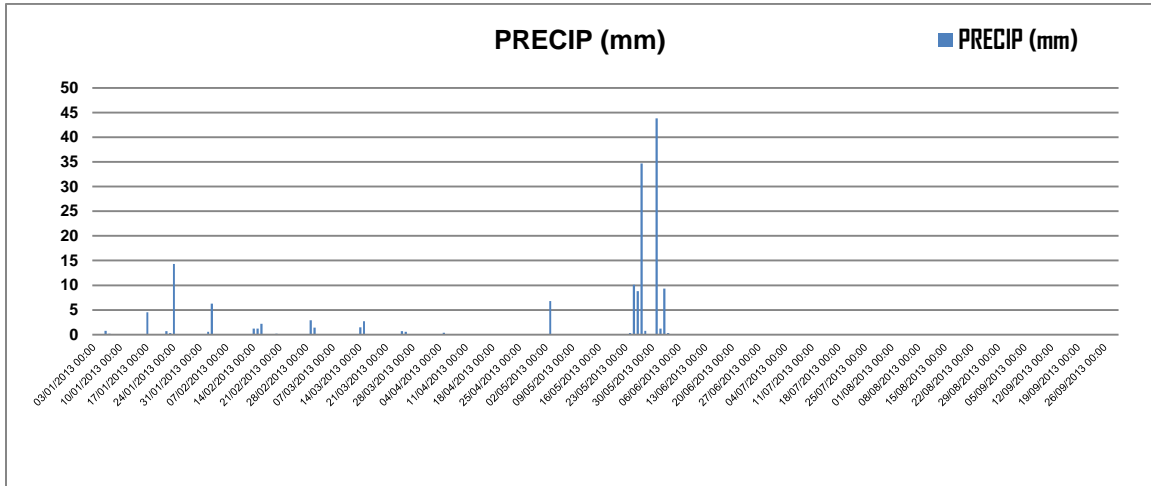
Este estudio no permite realizar ninguna conclusión de cuánta agua absorbe por las raíces adventicias, pero si permite concluir sobre el consumo diario de agua de un riego presurizado a partir del consumo de agua utilizando al suelo como almacén.

### **3.6 PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN DIARIA GENERAL PARA LA PRECIPITACION, EL ETO, COEFICIENTE DE CULTIVO Y EL CONTENIDO DE HUMEDAD**

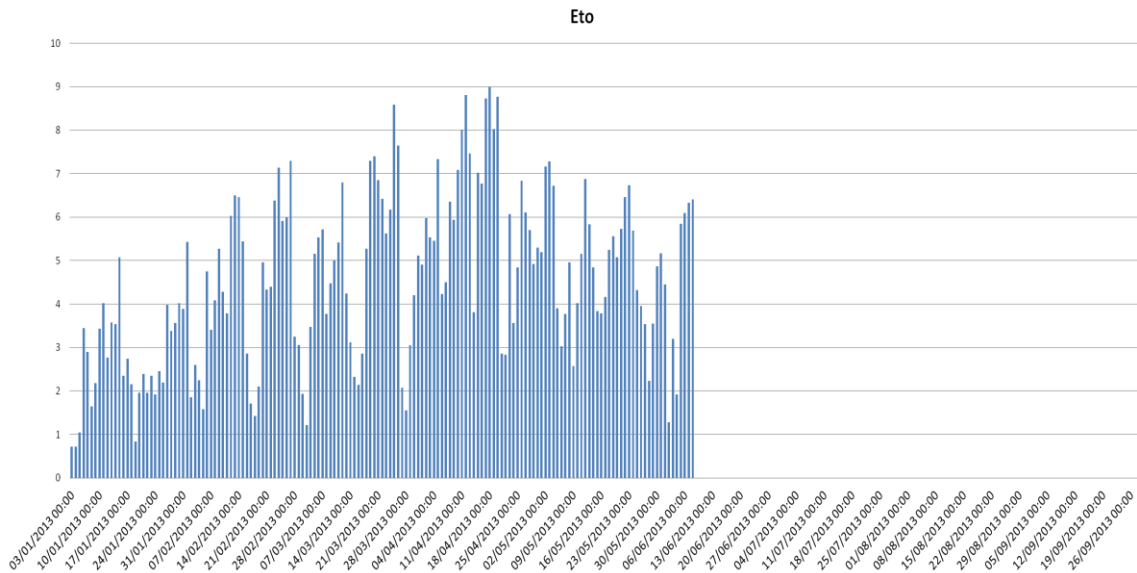
Los datos incluyen el periodo desde enero hasta septiembre. Existen datos no presentados en meses intermedios de julio y agosto que no pudieron ser recuperados por daño del Datalogger. Posteriormente se reparó la estación y se continuó la colecta de información.

Debido a que el cultivo de piña es un cultivo bianual, la estación ha permanecido en el predio y se continúa tomando los datos. No obstante el periodo de datos colectados se concluye con el trabajo.

Con los datos obtenidos en campo se observó lo siguiente para la precipitación, las sondas TDR instaladas a 15, 30, 45 y 60 centímetros.

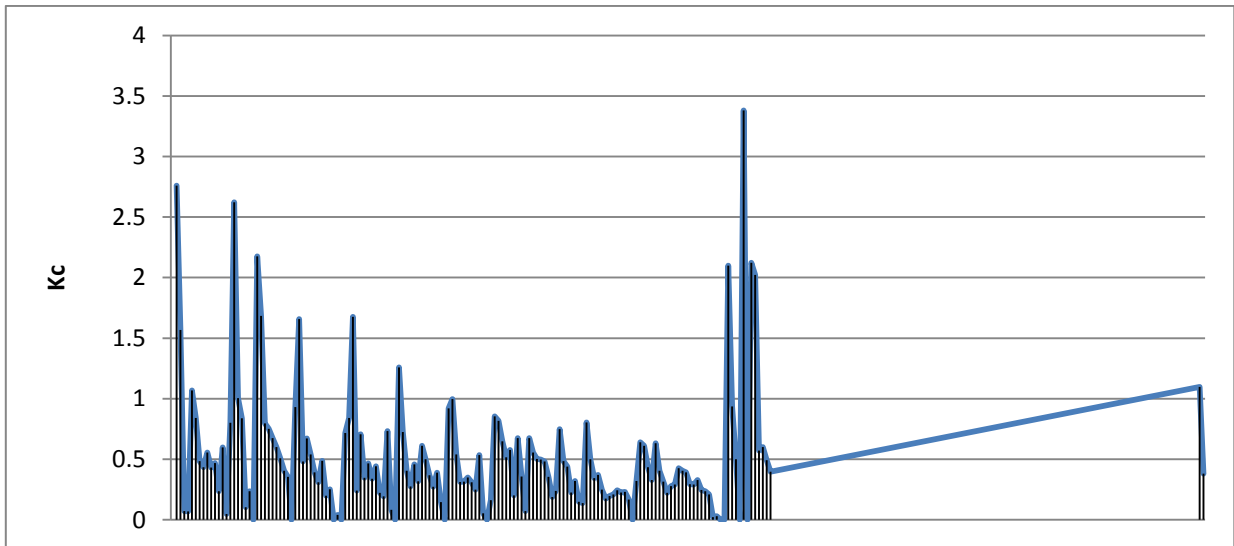


De las lluvias significativas, se observó que en el periodo de colecta de información se presentaron precipitaciones del orden de 43.8 milímetros de lluvia en el mes de Junio y un valor medio de 34.7 milímetros en el mes de Mayo, el volar mínimo se registró en el mes de Enero con un valor de 14.3 milímetros de precipitación y la gran mayoría son inferiores o del orden de ½ milímetro.

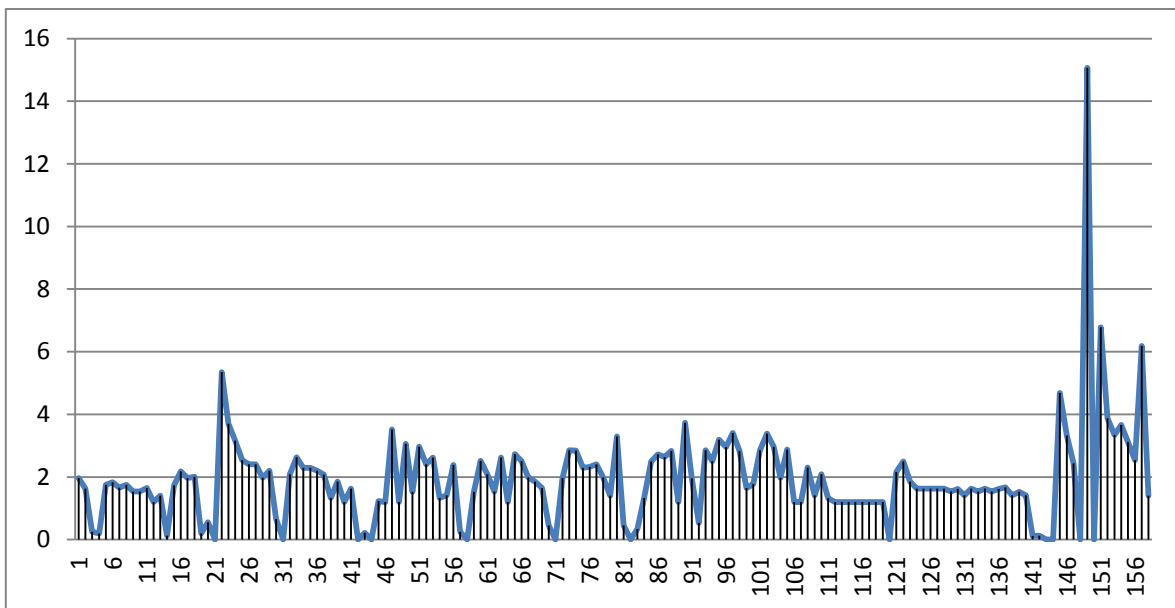


La ETo (mm) se registraron todos los datos obtenidos de la estación meteorológica que van desde Enero a Junio del año en curso y solo algunos datos del mes de septiembre. Registrando 160 datos, el valor mínimo de: 0.71 mm, valor medio de 4.473 mm, 8.995 mm, y un valor promedio de 4.558 mm con una desviación estándar de 1.921 milímetros.



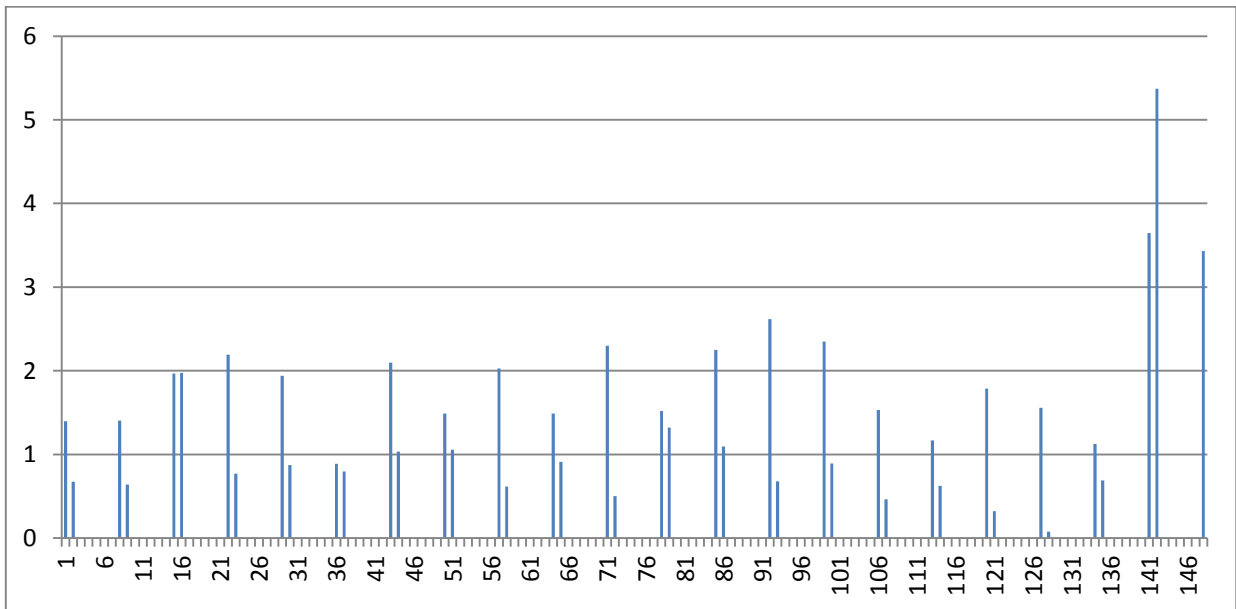


Para el coeficiente de cultivo se estimaron valores medios en el periodo evaluado de máxima de 3.38, media de 0.39, lo que se traduce en láminas de requerimiento de riego mínima de 0.25, media de 1.2 y máxima de 2.25 milímetros. Se tiene un promedio de 0.52 mm, y una desviación estándar de 0.537 mm.



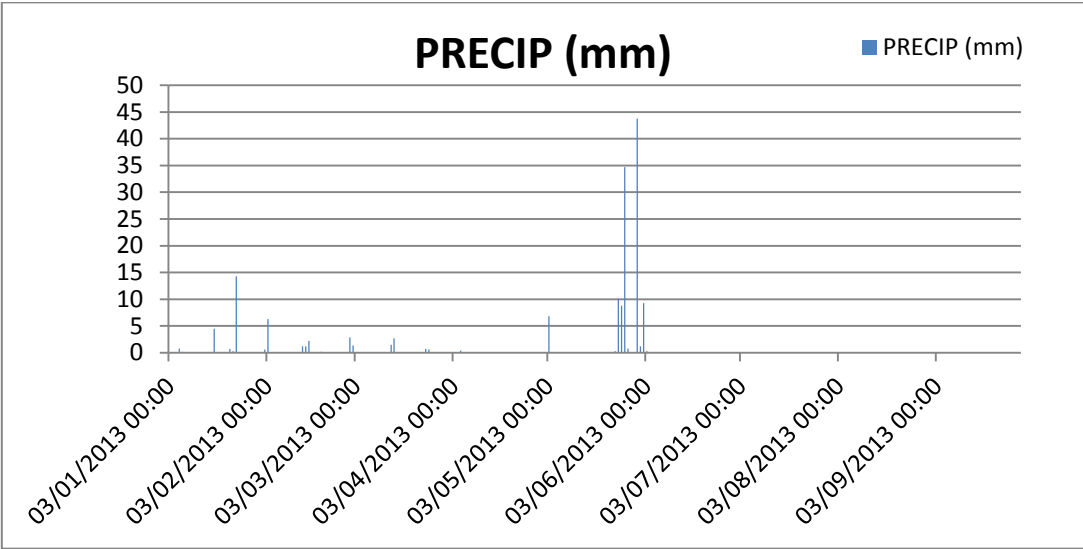
Para el contenido de humedad total  $CR = kc * Eto$ , se registró una máxima de 15.06 milímetros, una media de 1.69 milímetros de humedad, lo que se traduce en láminas de requerimiento de riego mínima de 0.25, media de 2.39 y máxima de 15.06 milímetros, los picos son resultado normal de días con lluvia donde la planta se permite el desperdicio de agua. El consumo de humedad promedio general por día es de 2.39 milímetros y una desviación estándar de 0.65 milímetros.

### 3.7 CONSUMO PROMEDIO SEMANAL GENERAL

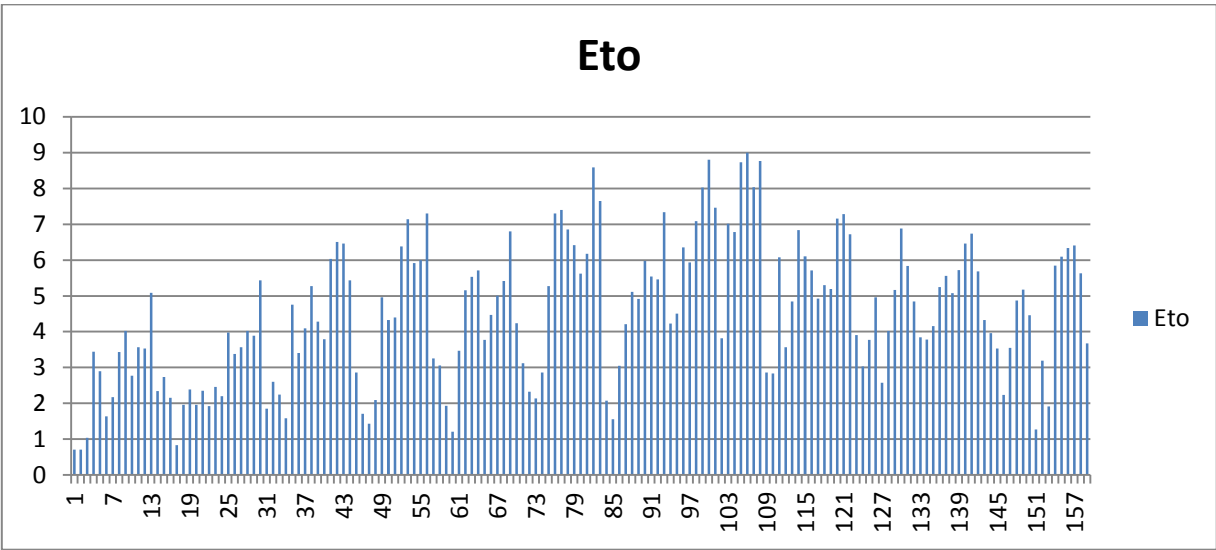


Durante el período de análisis se registraron 22 semanas en total, de las cuales se obtuvo un promedio semanal general de 1.91 milímetros de humedad; en la segunda semana de febrero se registró el promedio más bajo de humedad el cual fue de 0.88 milímetros de humedad con una desviación estándar de 0.79 milímetros, el valor medio se obtuvo en la segunda semana de Abril la cual obtuvo un valor promedio de 2.61 milímetros de humedad, el valor máximo se registró en la primera semana de junio dicho promedio fue de 3.64 milímetros de humedad. Las semanas restantes oscilaron entre los 1.12 – 2.35 milímetros de humedad.

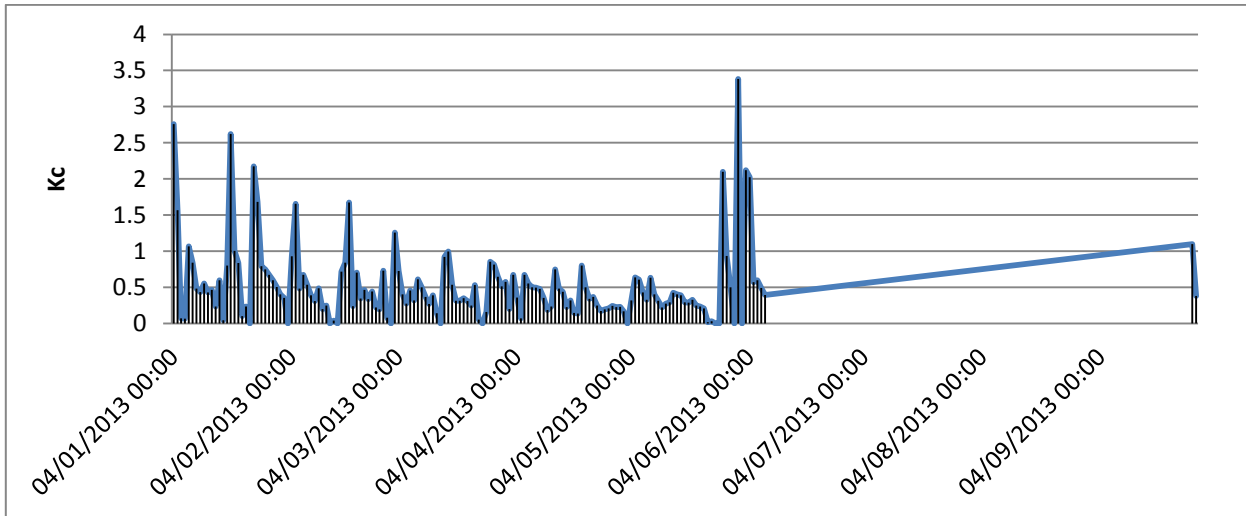
### 3.8 CONSUMO PROMEDIO MENSUAL GENERAL PARA LA PRECIPITACIÓN, Eto, COEFICIENTE DE CULTIVO Y CONSUMO DE HUMEDAD



Se observa que en el periodo de colecta de información hay precipitaciones del orden de 43.8 milímetros, que se registraron en junio del presente año y un valor medio de 34.7 milímetros que correspondió al mes de mayo y el valor mínimo se registró en enero con un valor de 14.3 milímetros de precipitación, la gran mayoría son inferiores o del orden de 6.3 milímetro, esto indica que el agricultor debe regar 2 o 3 veces aplicando por lo regular una media hora de riego que se calcula corresponde a una lámina precipitada de 2.22 milímetros de precipitación.

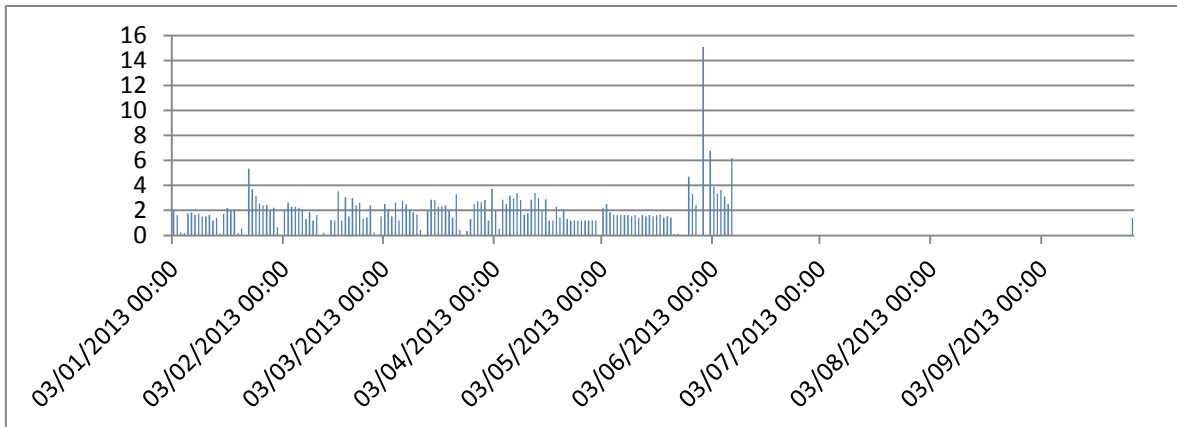


Para la evapotranspiración de referencia (Eto) se registró un promedio de 4.55 mm, con un valor máximo de 8.99 mm y un valor mínimo de 0.713 mm, para ajustar el riego necesario para el cultivo de piña en diferentes temporadas del año se necesitan agregar lamina de 2.22 mm de agua para este cultivo.



El coeficiente de cultivo se determinó experimentalmente y no es constante durante las fases de desarrollo del cultivo, en primavera el Kc es muy bajo y debe adaptarse a las reservas de agua existentes en el suelo y a la actividad radicular de la piña, posteriormente este va en aumento a medida que se agotan las reservas del agua dispersas en el suelo y la piña aumenta su actividad productiva.

Se estima un promedio, de todos los datos, de 0.525 del valor de Kc, y un valor medio de 4.45 mm para la Eto, para el coeficiente de cultivo el valor máximo de 3.38, lo que se traduce en láminas de requerimiento de riego mínima de 0.25, media de 2.33 milímetros diarios por riego para el cultivo de piña.



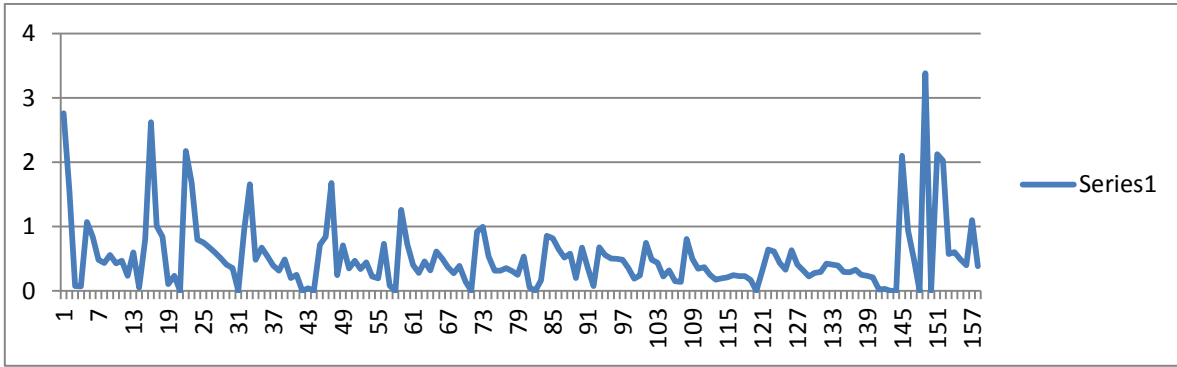
Desde el punto de vista hidrológico el contenido del agua en el suelo depende de varios factores, uno de ellos es la cantidad de lluvia en un área de suelo y la habilidad del suelo para retener esta agua depende de factores físicos tales como el espacio de suelo o poros del suelo, bolsas de aire, entre los agregados del suelo y la textura de la misma.

El contenido de humedad en los suelos es la cantidad de agua que el suelo guarda en el momento de ser extraído.

El consumo de agua  $CR = kc * Eto$ , se registró una máxima de 15.06 milímetros en el mes de Junio, media de 6.77 milímetros, una mínima 6.18 mm para el mismo mes. Los picos son resultado normal de días con lluvia donde la planta permite el desperdicio de agua la cual contiene un promedio de 4.59 mm por mes y consumo promedio general por mes es de 2.22 milímetros.

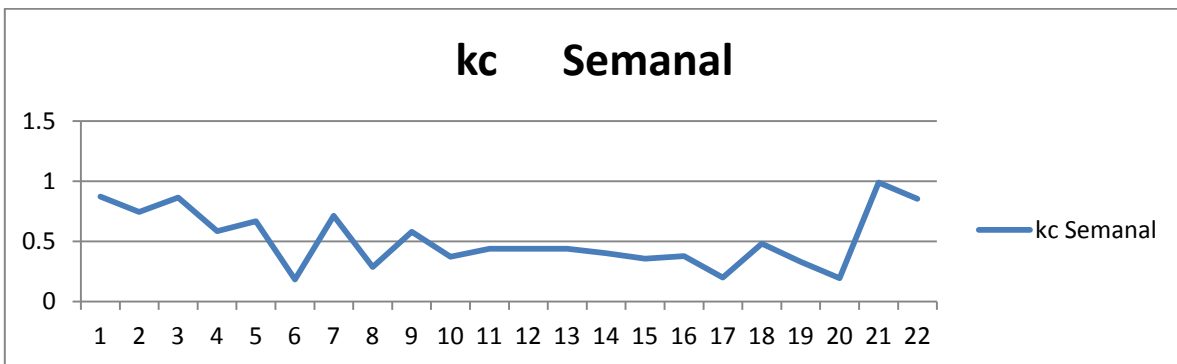
#### 4. CONCLUSIONES

El cultivo de piña tiene un ciclo productivo extrapolado esto quiere decir que el curso de los acontecimientos del coeficiente de cultivo continuará en el futuro. Las condiciones y necesidades hídricas fueron de un valor promedio 0.52 mm por día y una desviación estándar de 0.537 mm. Como se muestra en la gráfica a continuación:



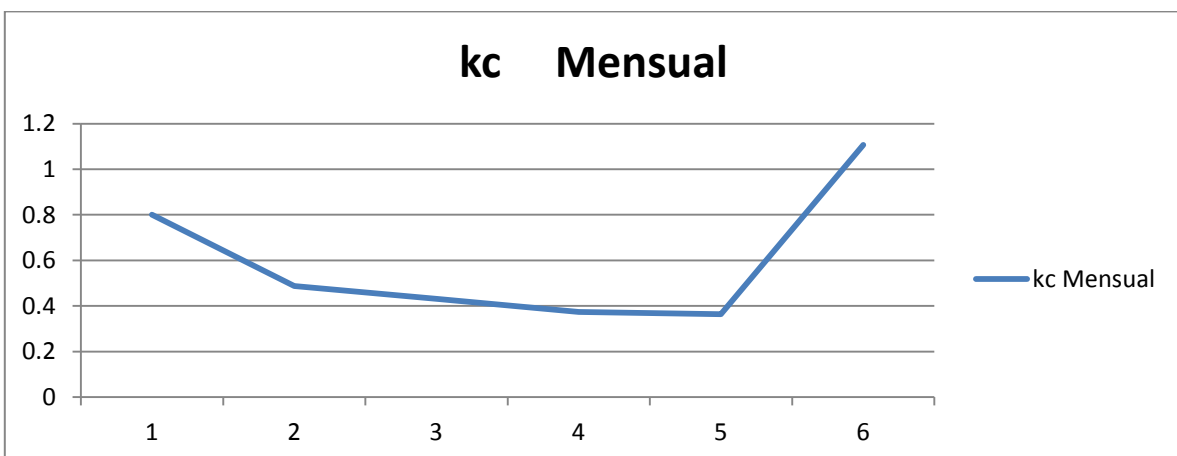
Esto quiere decir que para 0.525 del valor de Kc, y el valor medio de 4.55 mm para la Eto, se tienen que agregar 2.38 mm de agua al cultivo de piña.

Coeficiente de cultivo general por semana.



Para el kc semanal se obtuvo un promedio general de 0.525, y una desviación estándar de 0.237, por lo que se tiene que agregar una lámina de agua de 2.38 mm por semana.

Coeficiente de cultivo general por mes.



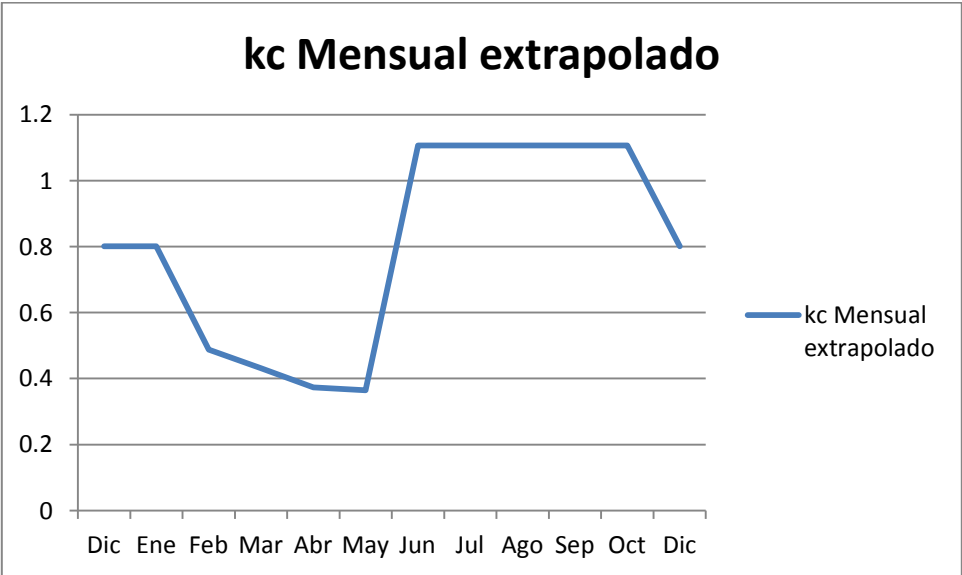
En la zona piñera del sur de Veracruz, las lluvias invernales (Diciembre-Enero), las de verano (Junio-Julio-Agosto) y las de Otoño (Septiembre-Octubre-Noviembre) tienen eventos mensuales importantes, por lo que la disponibilidad de agua para el cultivo de la piña es importante.

Los datos para determinar el coeficiente de cultivo fueron colectados durante la época de mayor requerimiento de riego por la planta, es decir cuando menos se presentan eventos de lluvia. En la última gráfica se muestran los valores mensuales del coeficiente en los meses de Enero a Junio.

El análisis de la información diaria muestra que la alta disponibilidad de agua (lluvia) provoca un mayor uso consuntivo por la piña, lo que eleva el valor del coeficiente de cultivo. Contrariamente a la escasez de eventos de precipitación, se reduce dicho coeficiente, mostrando que la piña se adapta a la disponibilidad de agua. Así se observa que el coeficiente de cultivo del mes de enero es idénticamente al mes de junio, presentando valores de coeficiente mucho mayores que los meses de relativa ausencia de lluvia.

Se puede indicar que la media mensual del coeficiente mensual de cultivo es de 0.40, que junto con la media de la Eto 4.99 mm en dichos meses indica un consumo diario de 1.99 mm.

La extrapolación de los coeficientes de cultivo indicaría que la piña reduce o aumenta el uso consuntivo en función de la disponibilidad de agua.



Finalmente se indica que la aplicación de una lámina diaria del orden de 2 mm se aplica en escasos 50 minutos de riego diario mediante el uso del sistema. Este es el caso de cultivo de piña con cobertera plástica (lugar de instalación de la estación).

Se supone que la malla sombra reduce en un 25% el consumo de agua por la piña por lo que la lámina diaria a aplicar es del orden de 1.5 mm diarios que se traducen en 37 minutos de riego con el sistema.

Si se apega a la visión local para el uso consuntivo del experto del INIFAP, de una lámina de 3 mm diarios para el cultivo de piña en ausencia de cobertera y malla sombra, el riego debe ser de 1 hr con 15 minutos, lo cual indicaría que el consumo aumenta en una relación 3 a 2, mientras que con tecnología completa (Energía renovable para el riego + acolchado + malla sombra) se lograría reducirla de 2 a 1.5 mm.