



Quinto Congreso Nacional de Riego y Drenaje COMEII-AURPAES 2019

Septiembre 2019 | Mazatlán, Sinaloa



SEMARNAT
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE
Y RECURSOS NATURALES



IMTA
INSTITUTO MEXICANO
DE TECNOLOGÍA DEL AGUA

DISEÑO Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE DRENAJE PARCELARIO SUBTERRÁNEO CONTROLADO

AUTORES

ERICK DEL CASTILLO SOLIS, JOSÉ RODOLFO NAMUCHE VARGAS,
HEBER ELEAZAR SAUCEDO ROJAS, CARLOS FUENTES RUIZ

19/septiembre/2019
Mazatlán, Sinaloa, México



SINALOA
GOBIERNO DEL ESTADO



CONAGUA
COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA



AURPAES, S.C.
Asociación Estatal de Asociaciones de Usuarios de Riego
Productores Agrícolas del Estado de Sinaloa S.C.



SADER
SECRETARÍA DE AGRICULTURA
Y DESARROLLO RURAL



SINALOA
SECRETARÍA DE
AGRICULTURA
Y GANADERÍA

AMERD
ASOCIACIÓN MEXICANA DE EMPRESAS DE RIEGO Y DRENAJE A.C.



IMTA
INSTITUTO MEXICANO
DE TECNOLOGÍA
DEL AGUA

inifap
Instituto Nacional de Investigaciones
Forestales, Agrícolas y Pecuarias



ANUR
ASOCIACIÓN NACIONAL DE
USUARIOS DE RIEGO, A.C.



**UNIVERSIDAD
DE LOS MOCHIS**





Contenido

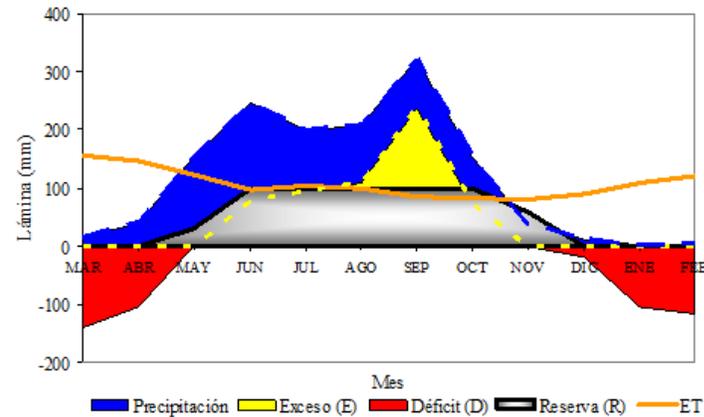
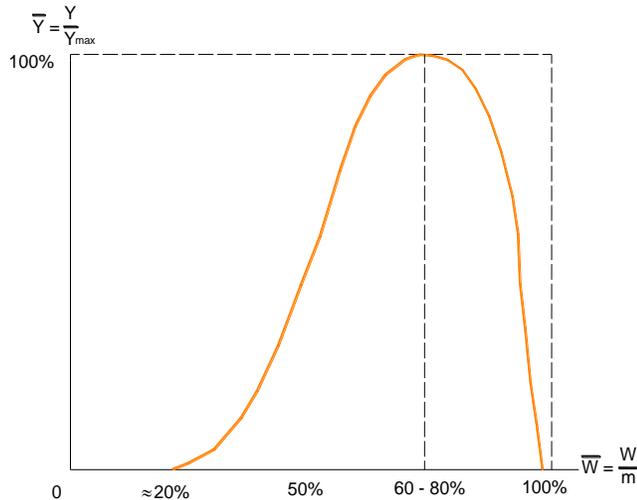
- Introducción
- Metodología
- Resultados y Discusión
- Conclusiones



Introducción

Un mal drenaje agrícola afecta:

- La cantidad, calidad y oportunidad de la producción agrícola.
- Generar asfixia de las raíces de los cultivos .
- Propician la aparición de enfermedades generalmente fungosas.
- Contribuyen a la pérdida de nutrientes del suelo y dificultan el acceso a las parcelas de personas y maquinaria.



En esta exposición se presenta una metodología para diseñar y evaluar un sistema de drenaje parcelario subterráneo controlado para el trópico húmedo

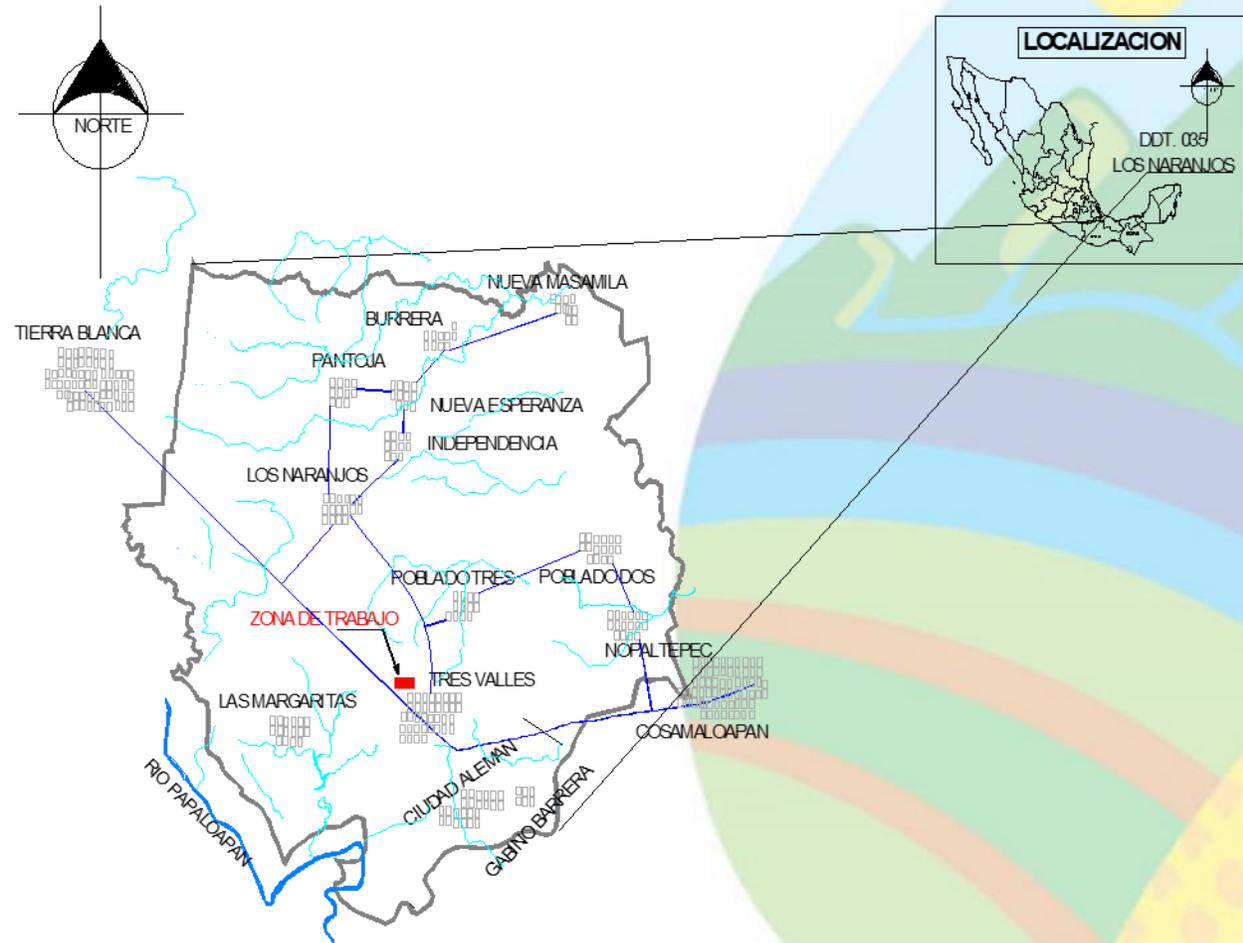
Metodología

Selección de la zona de estudio

- Superficie de **6.5 ha.**
- Pertenece al campo experimental del Ingenio Tres Valles (DTT 035, Los Naranjos, Ver.)
- Cuenta con **drenes a cielo abierto**
- Se cultiva **caña de azúcar** (ocupa el 93% de la superficie del Distrito).

Balance hídrico y climograma de la zona de proyecto

Balance de agua en el suelo; el utilizado en este trabajo es el propuesto por **Thorntwaite y Matter**, según el cual se va perdiendo agua para poder generar la evapotranspiración potencial hasta agotar la reserva. También se elaboró el **climograma**, el criterio utilizado es el de **Gausse**n, el cual define como mes seco aquel con precipitación (P) menor que el doble de la temperatura (T) promedio mensual.





Determinación de lluvia máxima

Las funciones de distribución utilizadas en el presente trabajo son las funciones; Lognormal, Gumbel I y Gumbel II, para un periodo de retorno de 25 años.

Estimación del escurrimiento

El método del número de curva (CN) del Servicio de Conservación de Suelos (SCS, 1972). La expresión con la que se calcula el escurrimiento es la siguiente:

$$R_e = \frac{\left(P_p + 5.08 - \frac{508}{CN} \right)^2}{\left(P_p - 20.32 + \frac{2032}{CN} \right)} \quad (1)$$

donde R_e , es el escurrimiento (cm), P_p es la lluvia máxima (cm) y CN es el número de curva (adimensional).





Módulo de drenaje

En forma general se puede expresar como un gasto por unidad de tiempo y área ($l\ s^{-1}\ ha^{-1}$). Es una función de la escorrentía y del tiempo de drenaje.

$$q_0 = \frac{\eta I_p}{T_d} = \frac{\eta(Pp - R_e)}{T_d} \quad (2)$$

donde, q_0 es el módulo de drenaje ($l\ s^{-1}\ ha^{-1}$); I_p es la diferencia de la precipitación máxima diaria Pp (mm) y la escorrentía total R_e (mm), T_d es el tiempo de drenaje (horas) y η es una constante con valor de 2.78.

Elaboración de planos de isobatas e isohypsas.

Se elaboraron los planos de isobatas e isohypsas para realizar el diagnóstico de drenaje en el modulo demostrativo.





Estimación de la conductividad hidráulica a saturación

Para su medición se utilizó el método del pozo barrenado, la conductividad hidráulica se calcula mediante la fórmula de Ernst (Ritzema, 1994):

$$K_s = C_k \frac{\Delta y}{\Delta t} \quad (3)$$

donde K_s es la conductividad hidráulica a saturación (m día^{-1}), $\Delta y/\Delta t$ es la velocidad media de recuperación del nivel (cm s^{-1}) y C_k es el coeficiente que toma en cuenta la geometría del flujo (adimensional). El coeficiente C_k se calcula mediante las fórmulas de Ernst (Ritzema, 1994).

Construcción de pozos de observación

La fluctuación del manto freático se estudió mediante la construcción de **36 pozos de observación**, con la finalidad de monitorear el comportamiento del manto freático tanto en los periodos de lluvia como durante el tiempo que pueda mantenerse la humedad aprovechable para el cultivo. El diámetro de los pozos es de 5 cm y la profundidad máxima es de 2 metros.





Análisis físicos del suelo

- Curvas granulométricas (selección del filtro geotextil para el sistema de drenaje agrícola).
- Textura.

Análisis químicos del suelo

- Conductividad eléctrica (salinidad del suelo).
- pH
- Se analizaron los cationes y aniones del suelo.

Análisis químico del agua

Se tomaron muestras de agua del manto freático:

- Conductividad eléctrica.
- Cationes y aniones.
- RAS
- Dureza total.





Diseño del sistema de drenaje

Tiempo de drenaje

Se define como el tiempo que un cultivo puede tolerar bajo condiciones de inundación sin disminuir significativamente su rendimiento.

Separación entre drenes

En régimen transitorio la fórmula más utilizada en este caso es la de Glover-Dumm (Ritzema, 1994):

$$L = \pi \sqrt{\frac{K_s d_e}{\mu \alpha}} \quad (4)$$

donde L es la separación entre drenes (m), K_s la conductividad hidráulica a saturación (m día^{-1}), d_e es el espesor saturado equivalente (m), μ es la porosidad drenable ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) y α es un factor de reacción (día^{-1}), que se calcula con la expresión siguiente:

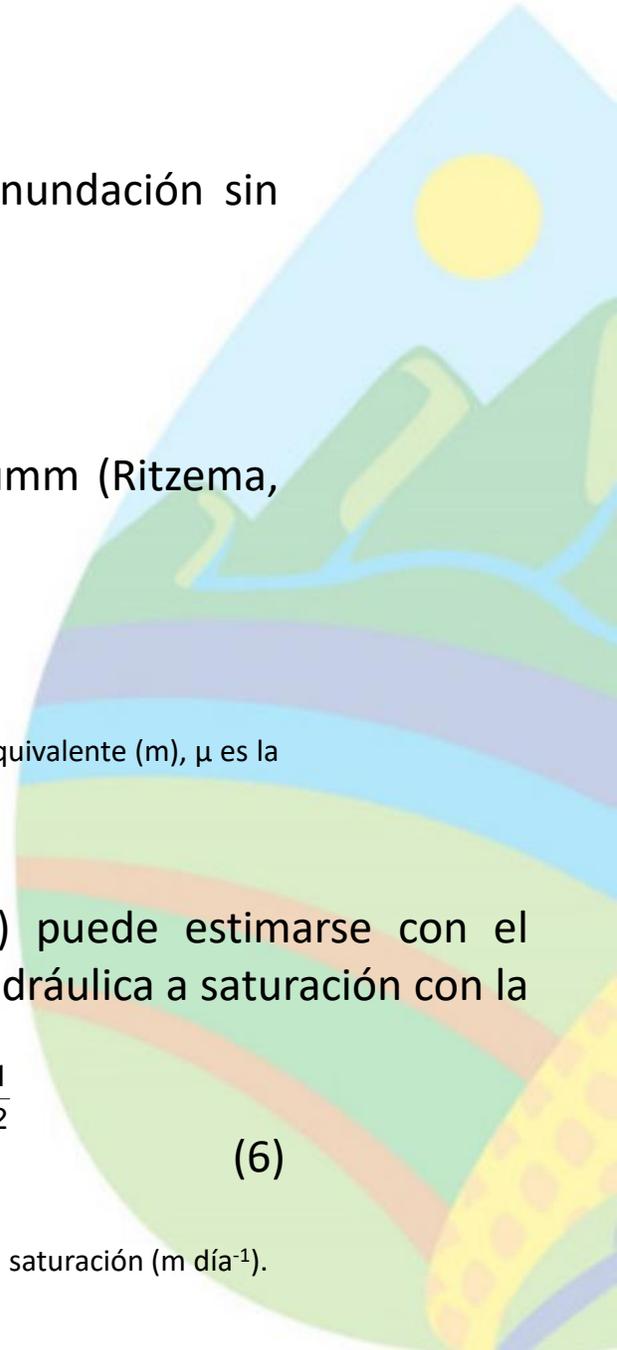
$$\alpha = \frac{1}{t} \ln \left(1.16 \frac{h_o}{h_t} \right) \quad (5)$$

donde t es el tiempo en el cual debe abatirse el nivel del manto freático (días), h_o es la elevación del nivel freático con respecto al nivel del agua de los drenes inmediatamente después del riego o lluvia, es decir, la posición inicial del manto freático (m) y h_t es la elevación del nivel freático con respecto al nivel del agua en los drenes después de t días de haberse aplicado el riego o presentado la lluvia (m).

La porosidad drenable (μ) puede estimarse con el valor de la conductividad hidráulica a saturación con la siguiente expresión:

$$\mu = \left(\frac{K_s}{100} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

donde K_s es la conductividad hidráulica a saturación (m día^{-1}).





Cálculos hidráulicos

El gasto que debe remover un dren (Q_r) en cualquier sección de su desarrollo es:

$$Q_r = q_0 A_d \quad (7)$$

donde q_0 es el gasto por unidad de superficie drenado o módulo de drenaje ($l\ s^{-1}ha^{-1}$) y A_d es el área drenada (ha).

La capacidad de conducción (Q_c) de las tuberías utilizadas se calcula con fórmulas de la hidráulica, en función del diámetro, rugosidad y pendiente:

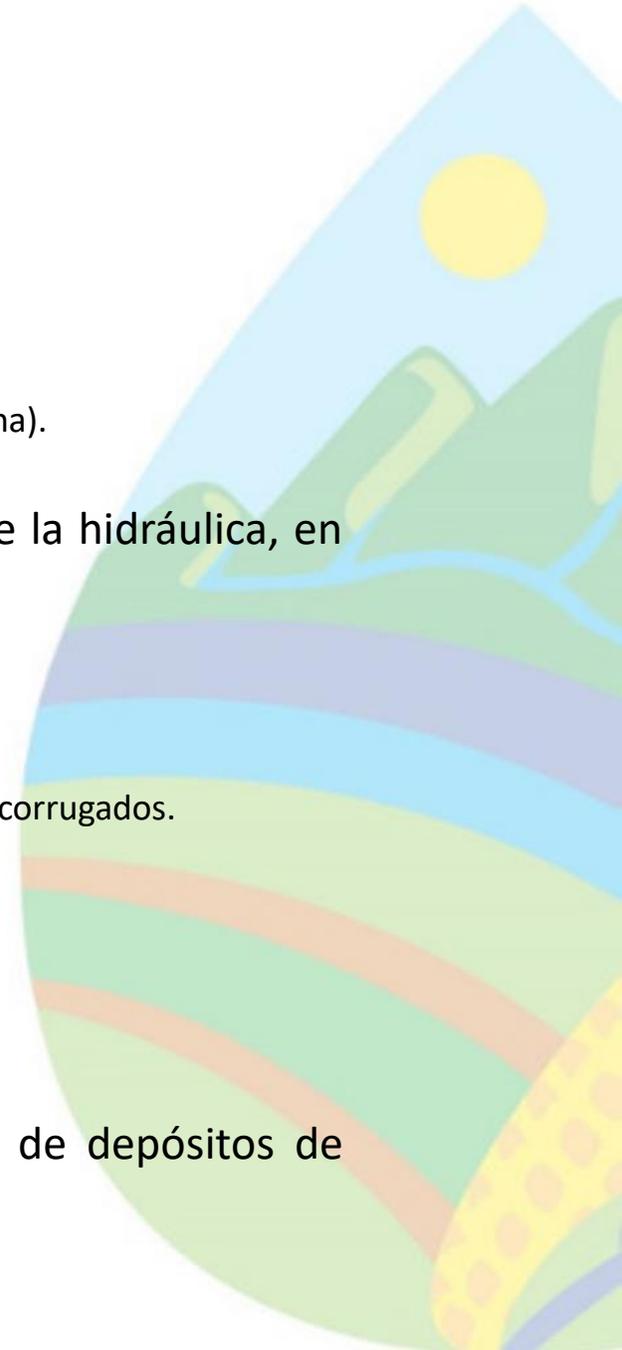
$$Q_c = 22d^{2.667} s^{0.5} \quad (8)$$

donde d es el diámetro del tubo (m) y s la pendiente de la tubería ($m\ m^{-1}$). Esta expresión es válida para tubos corrugados.

La velocidad de escurrimiento (v) se calcula con la siguiente fórmula:

$$v = 28d^{0.667} s^{0.5} \quad (9)$$

Esta velocidad debe ser superior a 0.2 m/s para evitar o disminuir los problemas de depósitos de azolves.





Diseño en planta

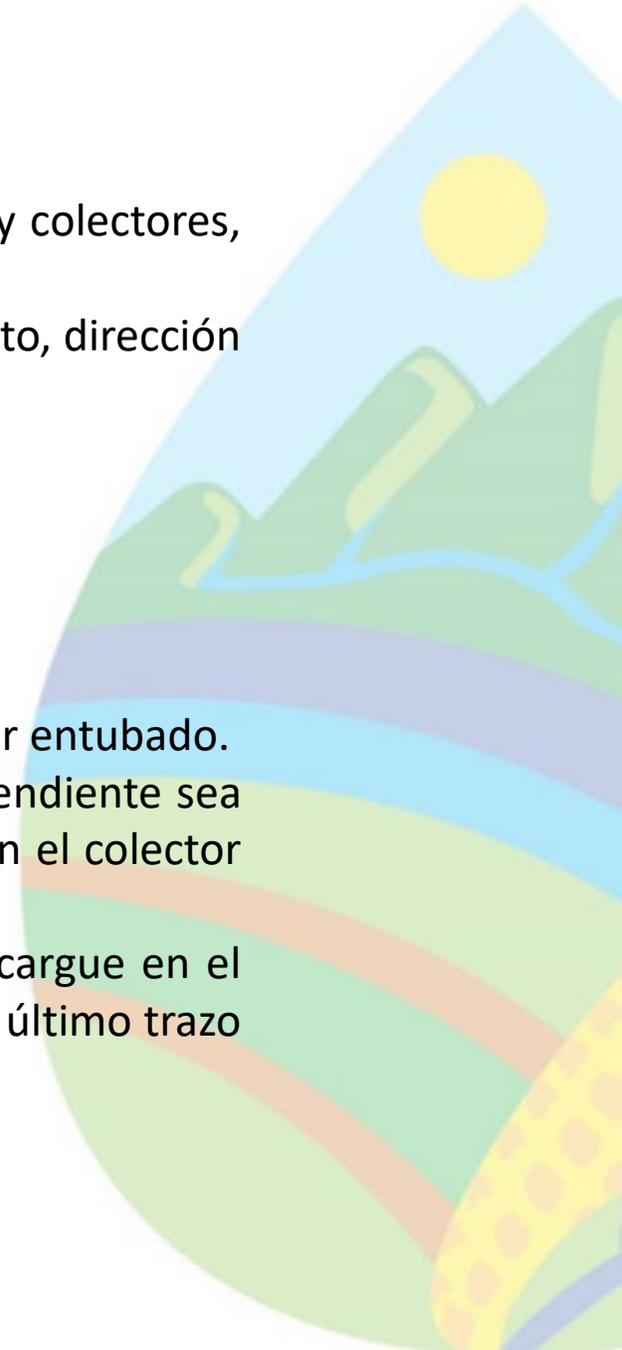
El diseño en planta consiste en:

- Determinar la ubicación, en el plano topográfico de la parcela, de los drenes y colectores, así como de las estructuras auxiliares.
- Para obtener el plano correspondiente es necesario determinar el espaciamiento, dirección y longitud de los drenes.

Diseño en perfil

El diseño en perfil que consiste en lo siguiente:

- Calcular el perfil del terreno a lo largo de la ubicación propuesta para el colector entubado.
- Proponer la ubicación del colector en el perfil calculado, procurando que la pendiente sea cuando menos de 0.001 mm^{-1} y que las aguas puedan descargar libremente en el colector abierto.
- Calcular los perfiles del terreno en la ubicación de cada dren lateral que descargue en el colector analizado y trazar en dichos perfiles los drenes correspondientes. Este último trazo se realiza a partir del punto de descarga.





Evaluación hidráulica

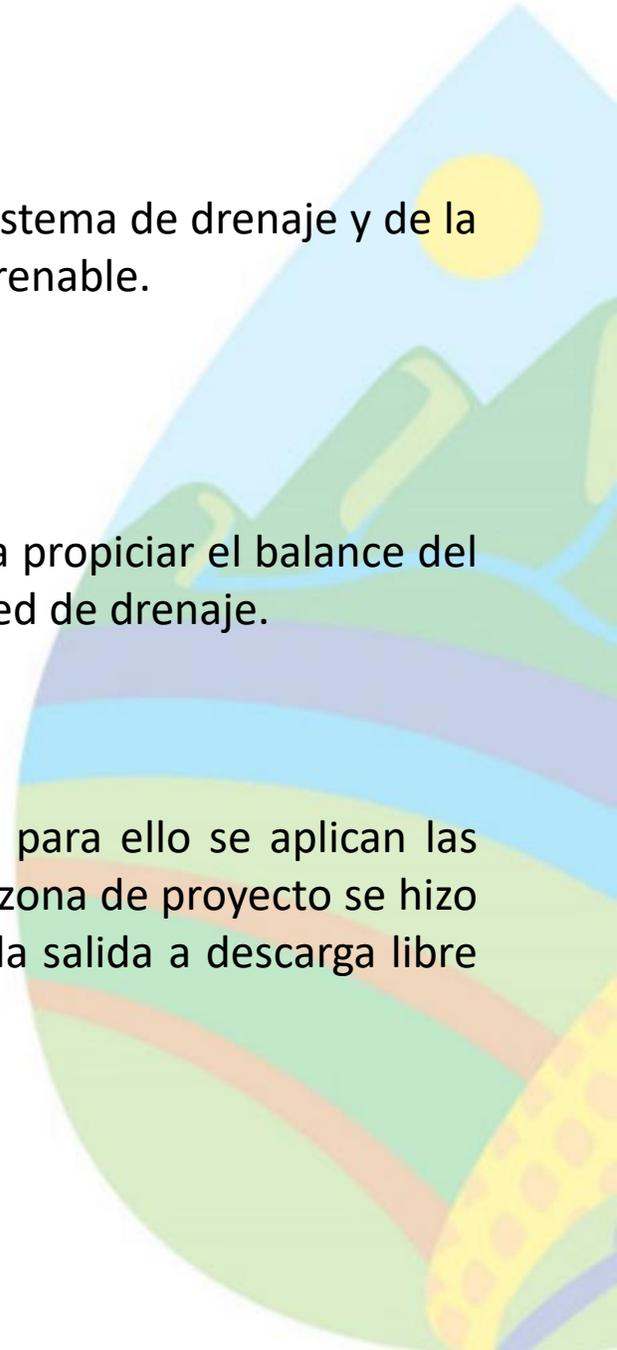
Para la evaluación hidráulica debe disponerse de **mediciones de gastos de descarga** del sistema de drenaje y de la **posición del manto freático**, que permitan estimar el módulo de drenaje y la porosidad drenable.

Estructura de control del manto freático

Las estructuras de control del manto freático permitirán efectuar el manejo del agua para propiciar el balance del régimen hídrico del suelo. Se construyó una estructura de control en cada colector de la red de drenaje.

Instalación del sistema de drenaje

La construcción comprende el trazo en campo y la instalación del sistema de drenaje, para ello se aplican las especificaciones técnicas que maneja el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. En la zona de proyecto se hizo necesario rehabilitar el dren a cielo abierto Palma-Higuera, con el objetivo de propiciar la salida a descarga libre de los escurrimientos del sistema de drenaje.





Resultados y discusión

Climograma y balance hídrico en la zona de proyecto

Con base en la información climatológica de la estación Ciudad Alemán, Veracruz, se elaboró su climograma. Se presenta un déficit de humedad de los meses de enero a mayo y un exceso de humedad de junio a octubre.

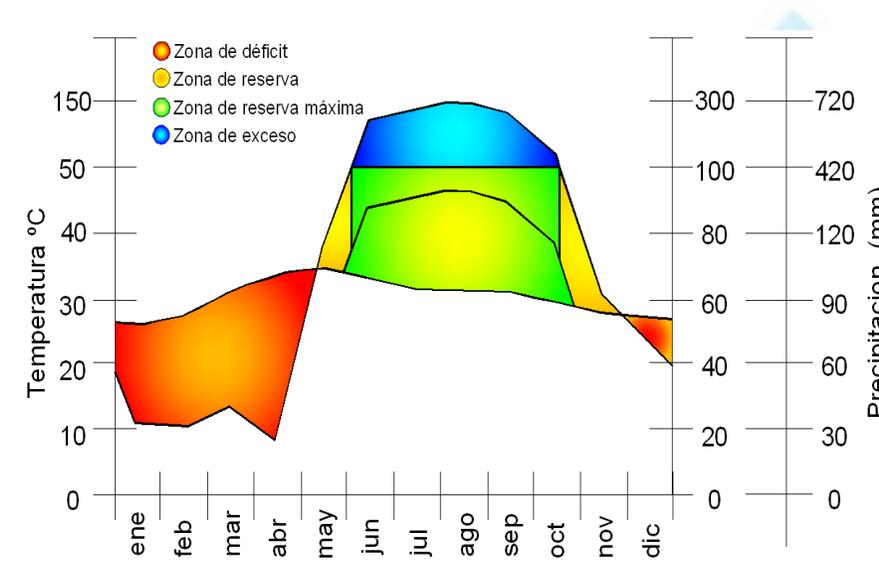


FIGURA 2. Climograma de la estación Cd. Alemán, Ver.

Según el balance hídrico en el suelo realizado para la estación de Ciudad Alemán, y Casamaloapan, Veracruz. Se presenta un período de déficit de humedad en el suelo, para los meses de enero a mayo, y un período de exceso de humedad para los meses de junio a noviembre.

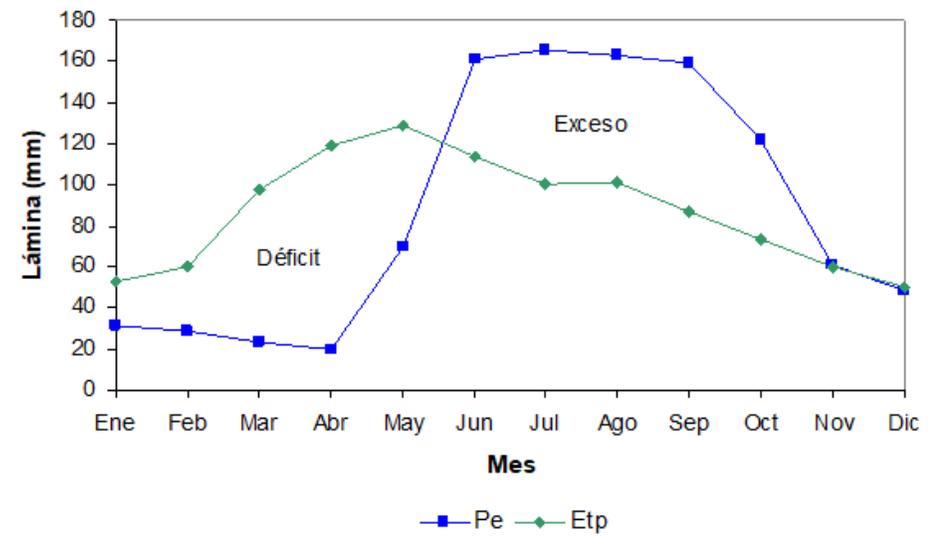


Figura 3. Balance hídrico de la estación Casamaloapan, Ver.



Determinación de lluvia máxima

Con una serie histórica de 52 años (1952-2003) de datos de lluvia diaria de la estación Cd. Alemán, Veracruz, y utilizando el programa AX (CENAPRED, 1997), se ajustaron los datos de precipitación a las funciones de probabilidad, obteniendo la función Gumbel II el menor error estándar.

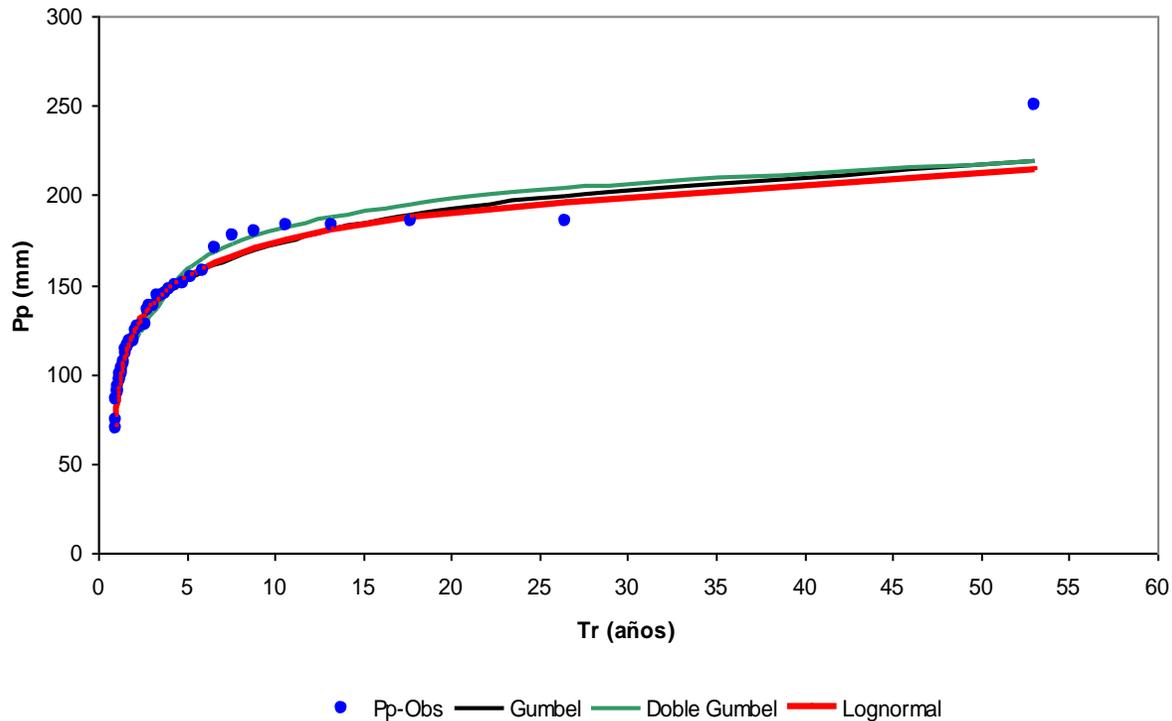


FIGURA 4. Ajuste de las distribuciones Gumbel I, Gumbel II y LogNormal, a los datos de lluvia máxima en 24 horas

CUADRO 2. Precipitaciones máximas estimadas para las distintas distribuciones

Tr (años)	LogNormal	Gumbel I	Gumbel II
5	154.1	152.5	157.7
10	173.1	172.6	180.4
25	196.1	198.1	202.4
50	212.6	217.1	217.4
100	228.6	235.9	231.9

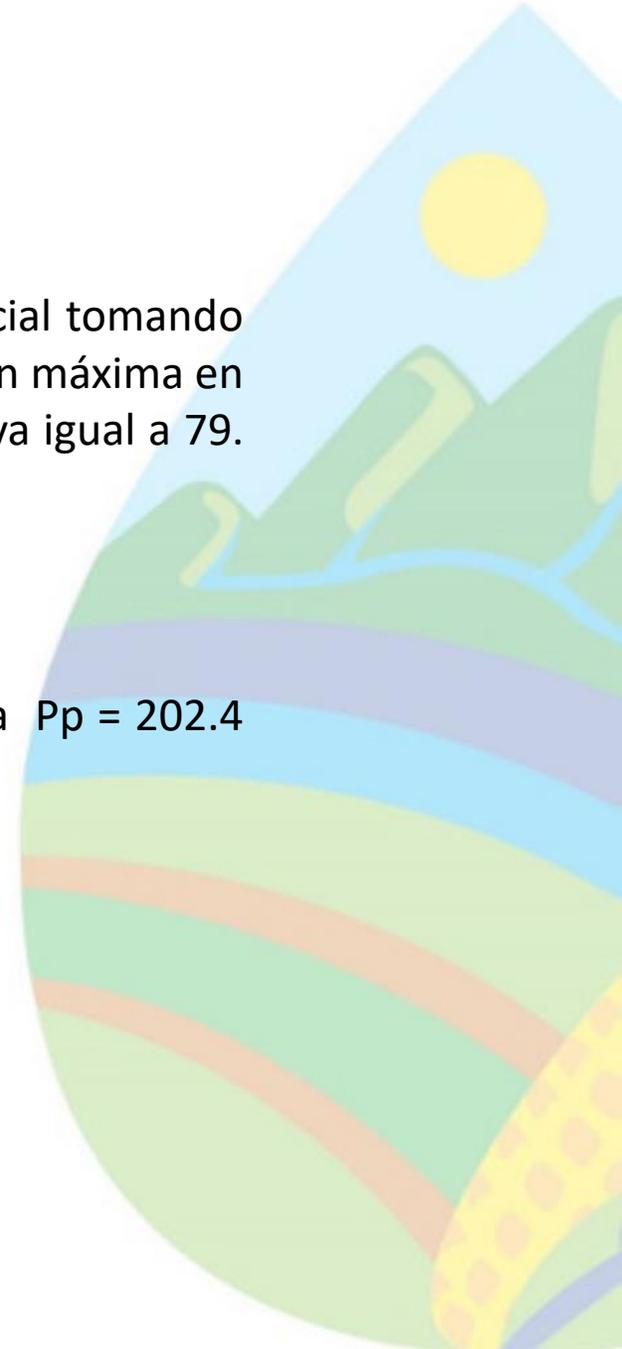


Estimación del escurrimiento

Aplicando el método del número de curva (CN) se estimó el escurrimiento superficial tomando en cuenta que el cultivo es caña de azúcar, sembrada en surcos y que la precipitación máxima en 24 horas para un periodo de retorno de 25 años es de 20.24 cm, el número de curva igual a 79. El escurrimiento resultante es de 13.92 cm.

Módulo de drenaje

El módulo de drenaje estimado con la ecuación 2 y para el área de estudio con una $P_p = 202.4$ mm, y $T_d = 72$ horas, resulta de $q_0 = 2.44 \text{ l s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$.





Elaboración de planos de isobatas e isohypsas

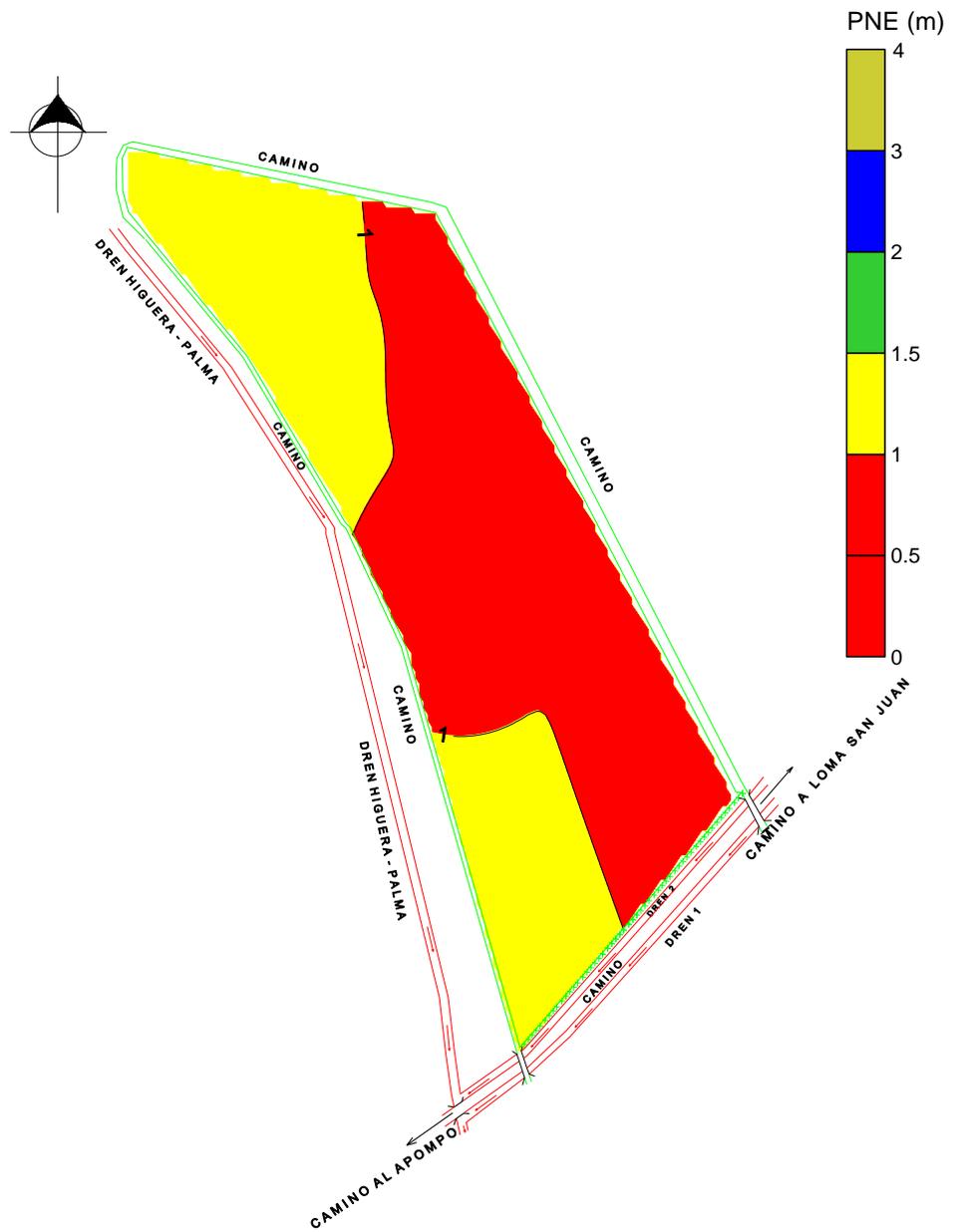


FIGURA 5. Isobatas del módulo de drenaje subterráneo controlado

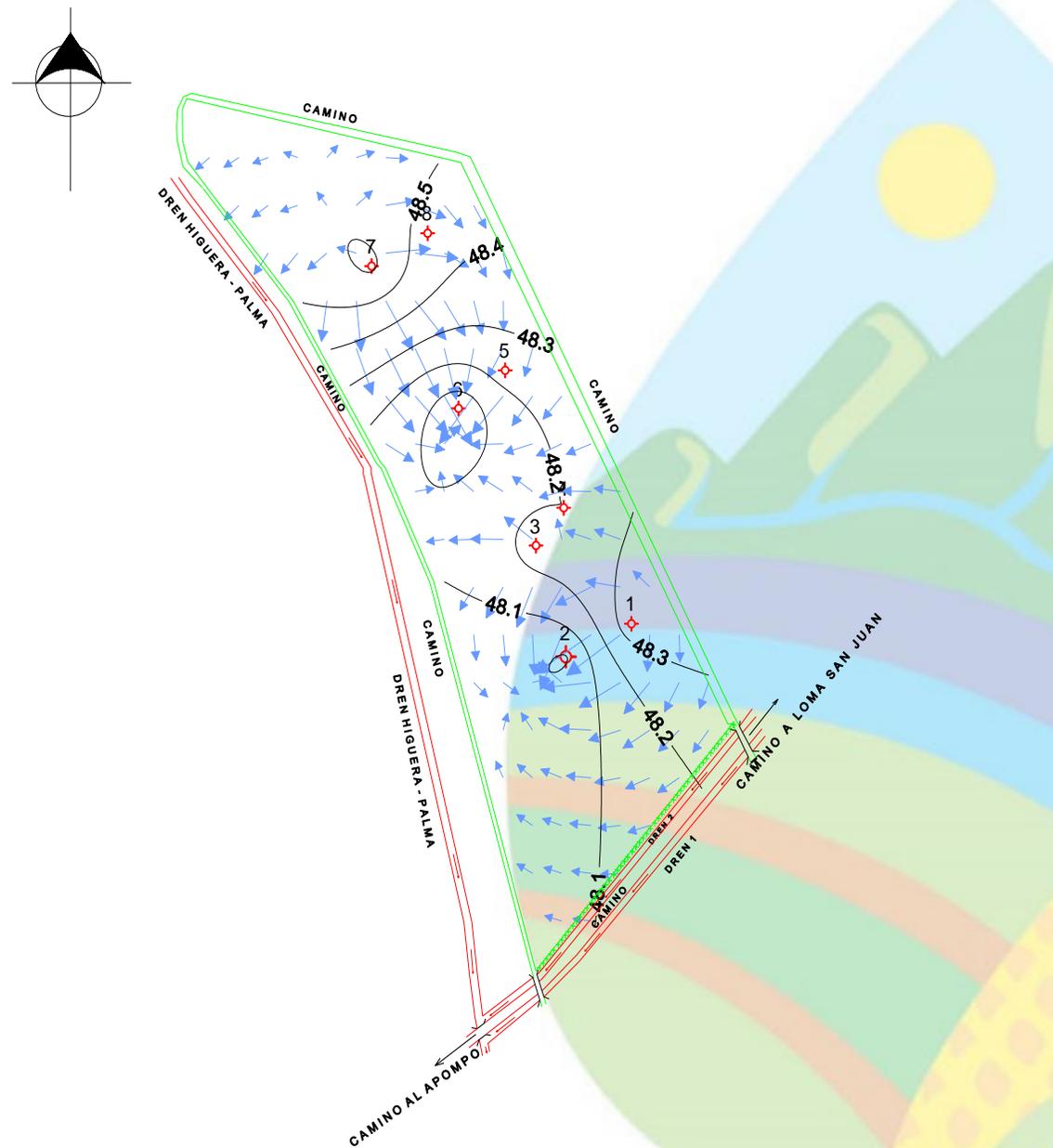


FIGURA 6. Isohypsas del módulo de drenaje subterráneo controlado



Estimación de la conductividad hidráulica a saturación

El valor medio de la conductividad hidráulica a saturación (K_s) fue de 0.33 m/día.

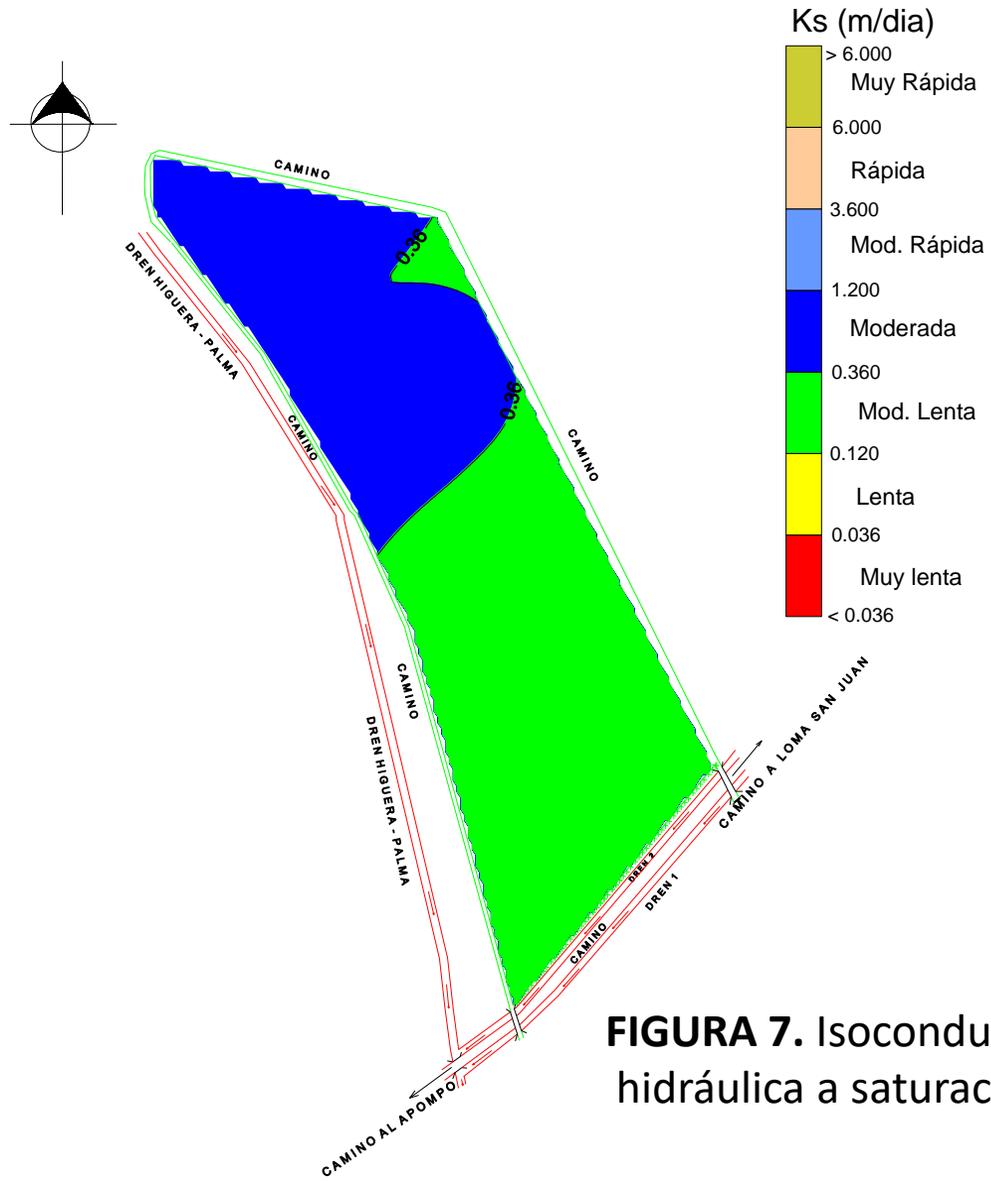


FIGURA 7. Isoconductividad hidráulica a saturación





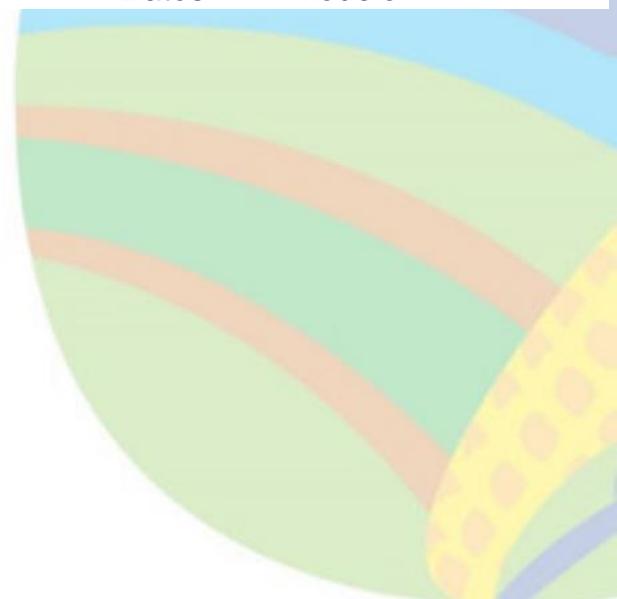
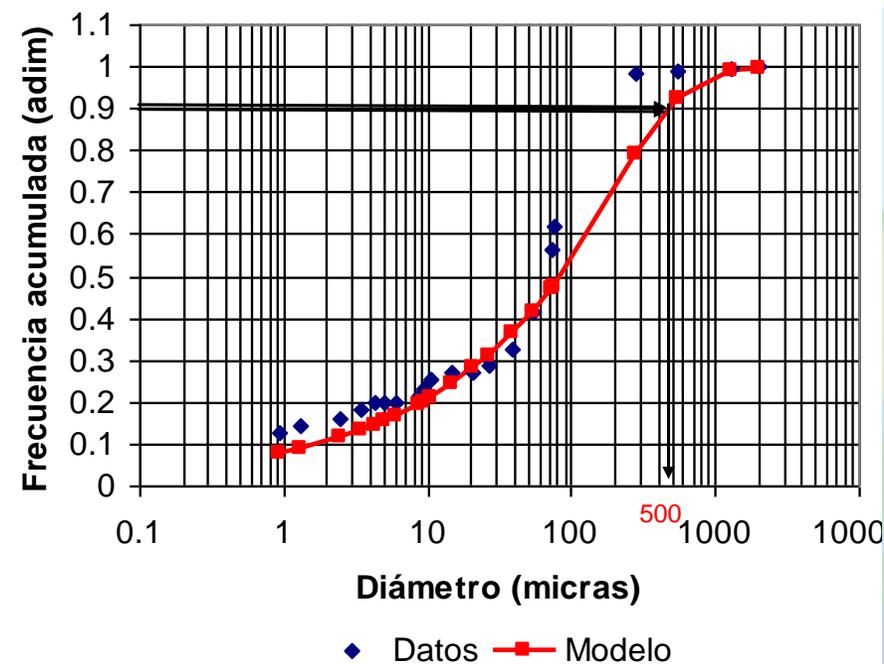
Análisis físicos del suelo

Se obtuvo la curva granulométrica, con la cual se realizó la selección del filtro geotextil para el sistema de drenaje agrícola. Se utilizó la curva granulométrica del suelo de la parcela demostrativa para determinar $d_{90} = 500 \mu\text{m}$, con base en los criterios de selección del filtro geotextil mostrados en el cuadro 3, que corresponde a un filtro con aberturas de $600 \mu\text{m}$.

CUADRO 3. Selección del tipo de filtro según el criterio de retención

Criterios	d_{90}	O_{90}	O_{90}/d_{90}	Conclusión
Retención	500	600	1.20	$1.20 < 2.5$, aceptable
Hidráulico	500	600	-	$O_{90} > 200 \mu\text{m}$, aceptable
Para evitar taponamiento	500	600	1.20	$O_{90}/d_{90} > 1$, aceptable

Las texturas predominantes del suelo de 0 a 100 cm de profundidad son franco limoso y franco.





Análisis químicos del suelo

Parámetro	Valor promedio	clasificación
C.E. (dS/m)	0.46	Sin problemas de salinidad
pH	8.3	Sin problemas de acidez
Alcalinidad		Moderada
Calcio intercambiable (mg kg ⁻¹)	4,040.2	Muy rico
Magnesio (mg kg ⁻¹)	147.1	Muy rico
Manganeso intercambiable (mg kg ⁻¹)	4.1	Muy bajo

Análisis químico del agua

- Los resultados del análisis químico de las aguas del manto freático permiten clasificar el agua predominantemente como no salina.
- Con respecto al RAS estimado para el agua del manto freático y para el agua de riego no presentan restricciones para su uso como agua de riego.
- La calidad del agua del manto freático es aceptable y sin ninguna restricción en general.





Diseño del sistema de drenaje

Separación entre drenes

Para la parcela demostrativa con la conductividad hidráulica a saturación estimada por el método del pozo barrenado.

El tiempo de abatimiento del manto freático para los cuatro separaciones entre drenes calculados se muestra en el cuadro 4. Se debe mencionar que el abatimiento del manto freático esperado por los sistemas de drenaje es de 30 cm con respecto a la superficie del terreno.

CUADRO 4. Tiempo de abatimiento del manto freático en función del espaciamiento

L (m)	K_s (m/día)	d_e	μ	h_o (m)	H_t (m)	T (días)
15	0.27	1.62	0.038	1.0	0.7	1.78
20	0.15	1.63	0.052	1.0	0.7	2.45
30	0.39	2.24	0.062	1.0	0.7	3.29
40	0.53	2.84	0.073	1.0	0.7	3.50

Diseño en planta

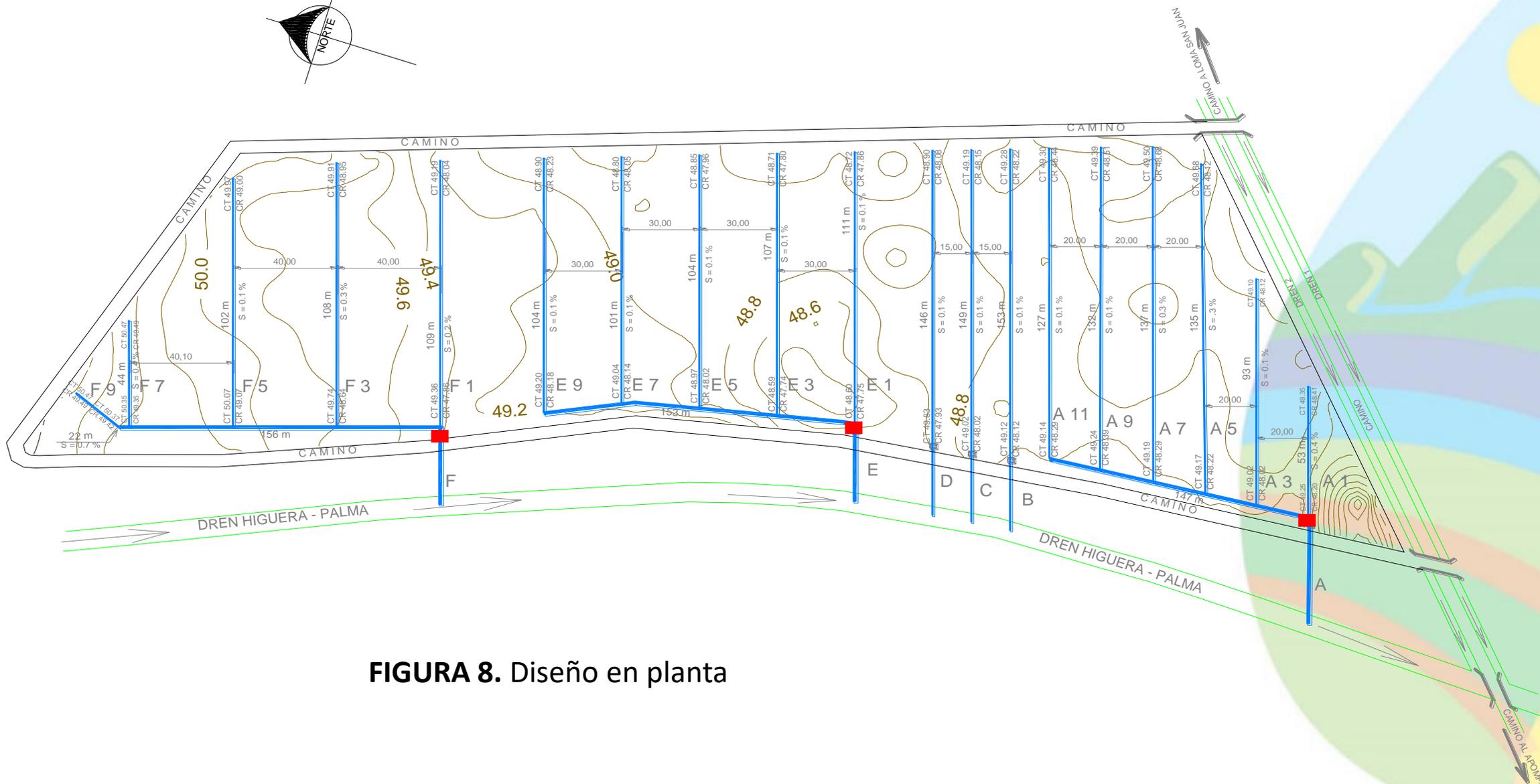
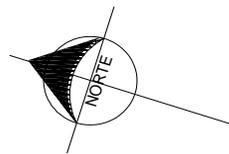


FIGURA 8. Diseño en planta



Cálculos hidráulicos

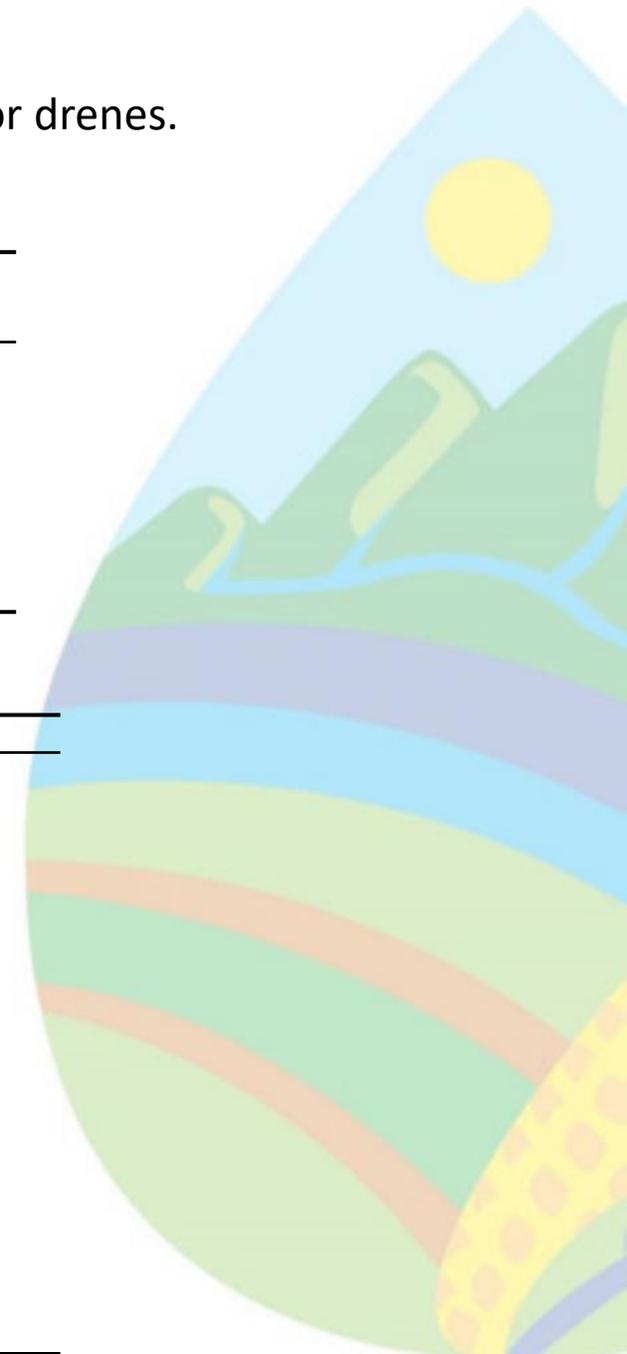
En los cuadros 5 y 6 se muestran los gastos que se requiere evacuar por colector y por drenes.

CUADRO 5. Gasto a evacuar por colector

Colector /dren	Área drenada (ha)	Módulo de drenaje ($\text{m}^3/\text{s}/\text{ha}$)	Gasto a evacuar (m^3/s)
A	1.4100	0.00244	0.00344
B	0.2000	0.00244	0.00049
C	0.1900	0.00244	0.00046
D	0.1900	0.00244	0.00046
E	1.7100	0.00244	0.00417
F	1.5500	0.00244	0.00378

CUADRO 6. Gastos a evacuar por dren

Dren	Área drenada (ha)	drenaje ($\text{m}^3/\text{s}/\text{ha}$)	evacuar (m^3/s)
A1	0.1300	0.00244	0.00032
A3	0.2100	0.0024	0.00050
A5	0.2800	0.0024	0.00067
A7	0.2800	0.0024	0.00067
A9	0.2800	0.0024	0.00067
A11	0.2300	0.0024	0.00055
E1	0.3400	0.0024	0.00082
E3	0.3400	0.0024	0.00082
E5	0.3300	0.0024	0.00079
E7	0.3200	0.0024	0.00077
E9	0.3300	0.0024	0.00079
F1	0.4600	0.0024	0.00110
F3	0.4500	0.0024	0.00108
F5	0.4200	0.0024	0.00101
F7	0.1700	0.0024	0.00041
F9	0.0500	0.0024	0.00012





En el cuadro 7 se muestran los gastos de diseño para los colectores y los drenes. El diámetro propuesto para la tubería se acepta dado que se cumple la condición $Q_c \geq Q_r$.

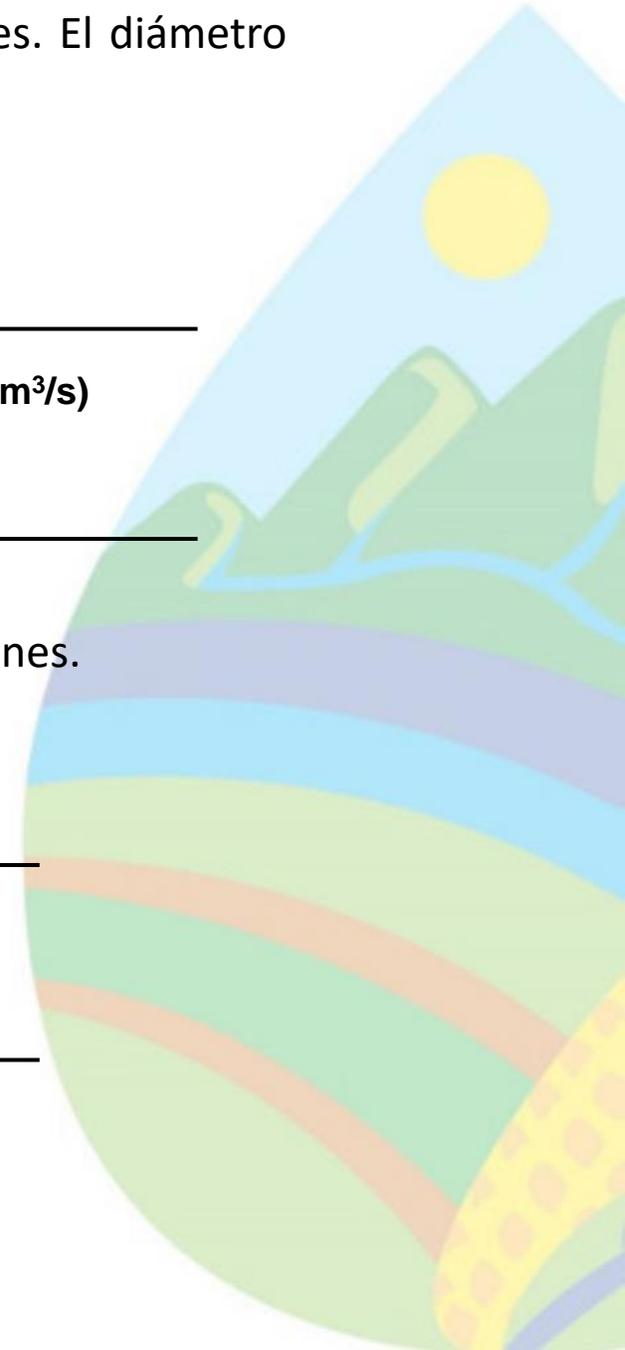
CUADRO 7. Gasto de diseño para colectores y drenes laterales

	Diámetro (m)	Pendiente (m/m)	Gasto calculado (m³/s)
Colector	0.2032	0.00100	0.0099
Dren	0.1016	0.00120	0.0017

En el cuadro 8, se muestran las velocidades calculadas para los colectores y drenes.

CUADRO 8. Velocidades calculadas para colectores y drenes

	Diámetro (m)	Pendiente (m/m)	Velocidad (m/s)
Colector	0.2032	0.00100	0.31
Dren	0.1016	0.00120	0.21





Diseño en perfil

Un ejemplo del diseño en perfil se muestra en la figura 9, en ella se observa el perfil del colector A, en donde se indican las cotas del terreno y de la rasante, así como la pendiente del colector.

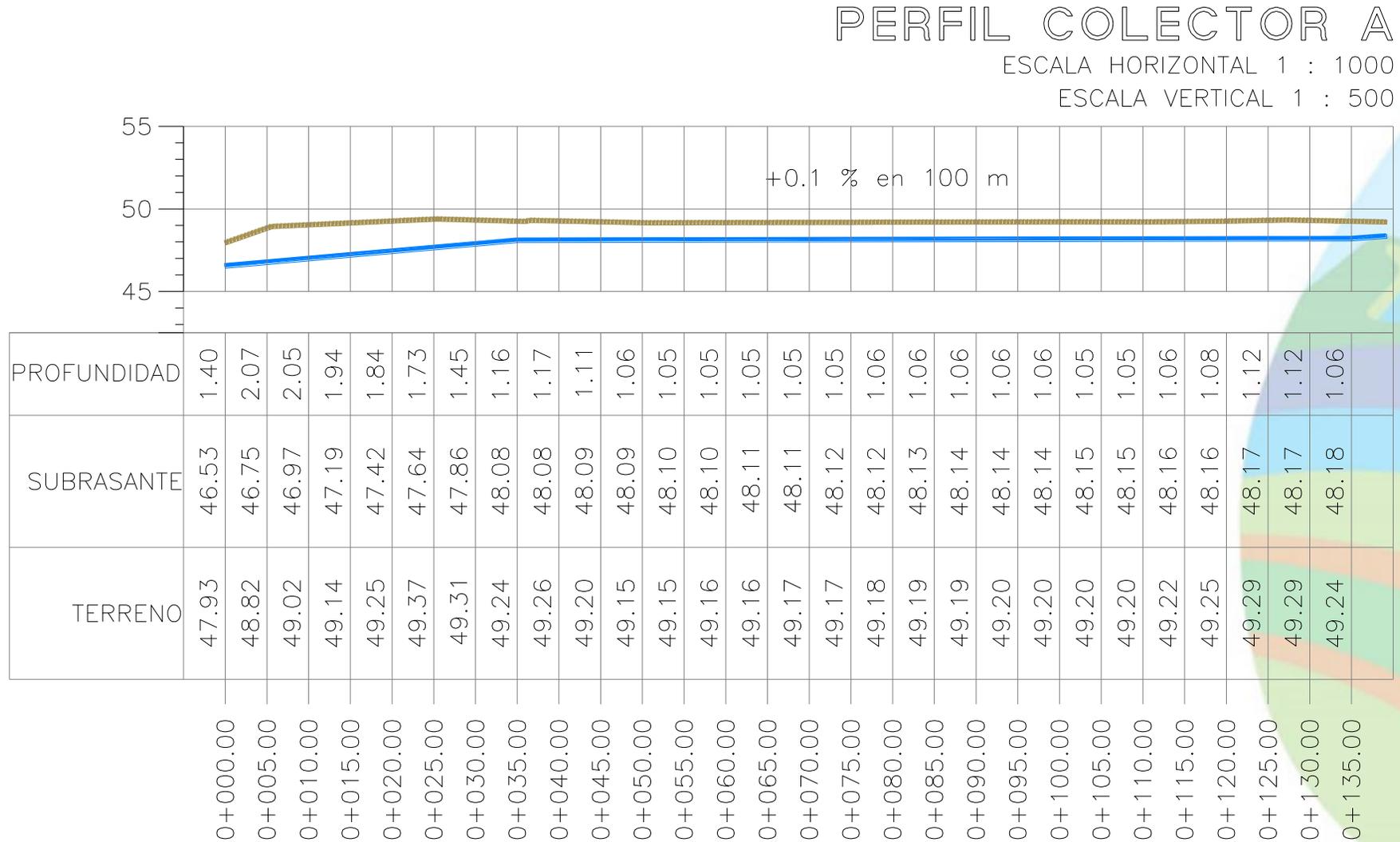


FIGURA 9. Perfil del colector A

Estructura de control del manto freático

El diseño de la estructura de control se muestra en la siguiente figura.

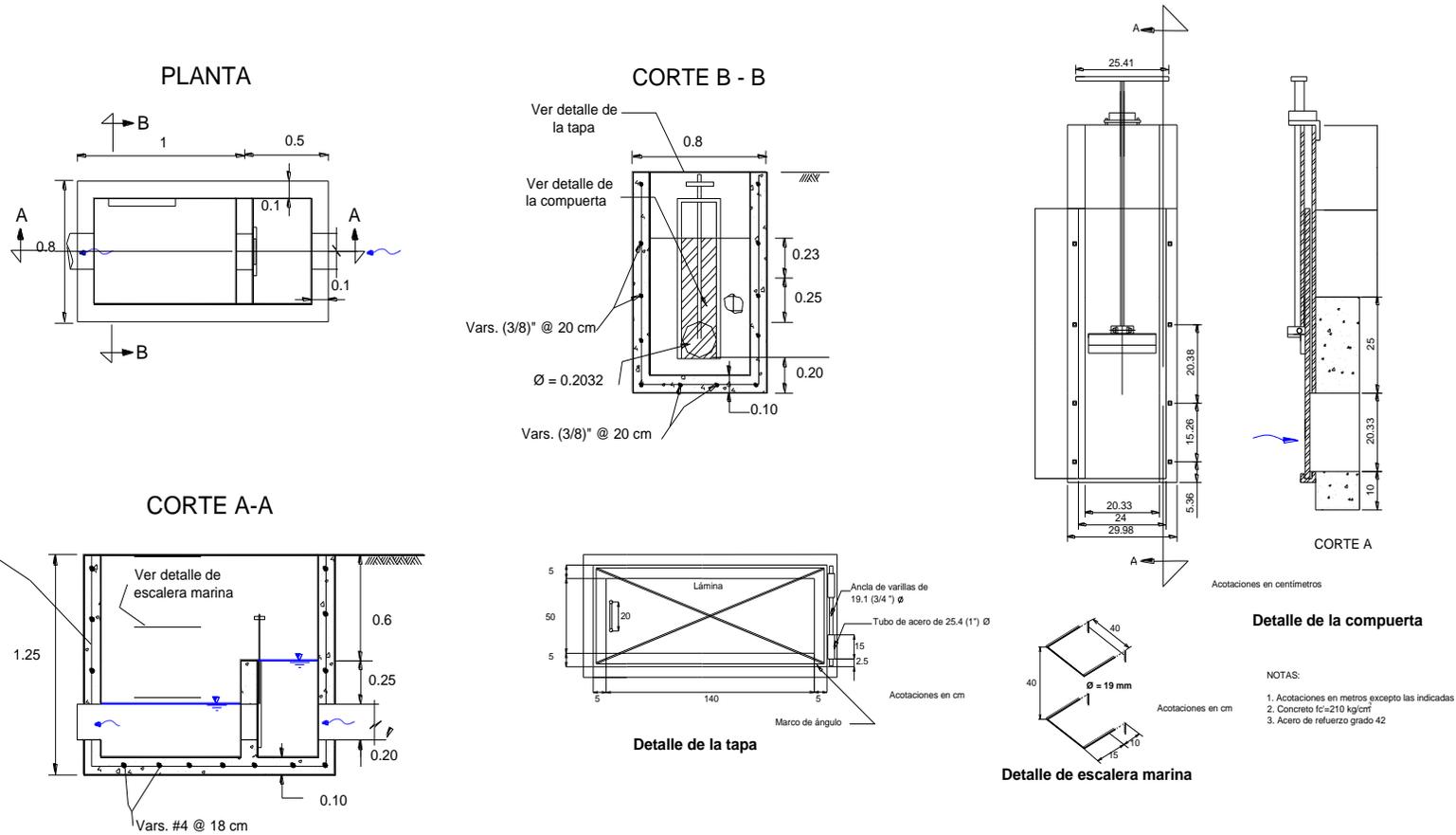
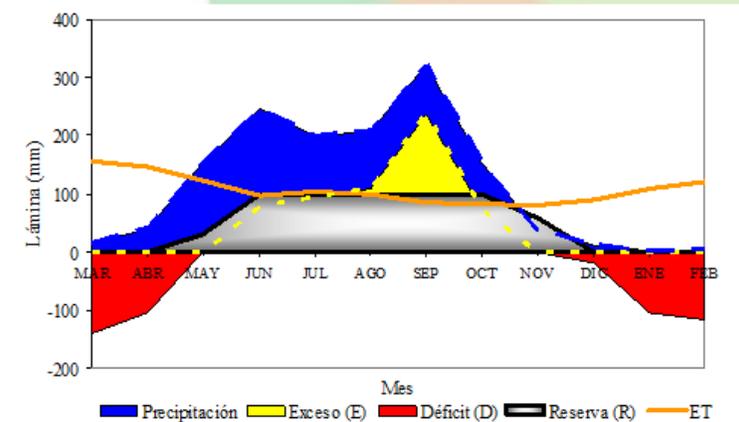


FIGURA 10. Diseño de la estructura de control del manto freático





Instalación del sistema de drenaje

Se instalaron seis drenes laterales de 4" de diámetro a una separación de 20 m con pendiente media de 0.1%, que descargan al colector A de 8" de diámetro con una pendiente de 0.1%; tres drenes laterales B, C y D, de 4" de diámetro a una separación de 15 m con pendiente de 0.1% que descargan directamente al dren a cielo abierto Palma- Higuera los cuales fueron instalados con fines de evaluación hidráulica



cinco drenes laterales de 4" de diámetro a separación de 30 m con pendiente de 0.1%, que descargan al colector E de 8" de diámetro con pendiente de 0.1% y cinco drenes laterales de 4" de diámetro a separación de 40 m con pendiente de 0.1%. Los tres colectores subterráneos A, E y F; así como tres drenes laterales B, C y D descargan al dren a cielo abierto Palma-Higuera.



FIGURA 11. Instalación del sistema de drenaje

Evaluación hidráulica

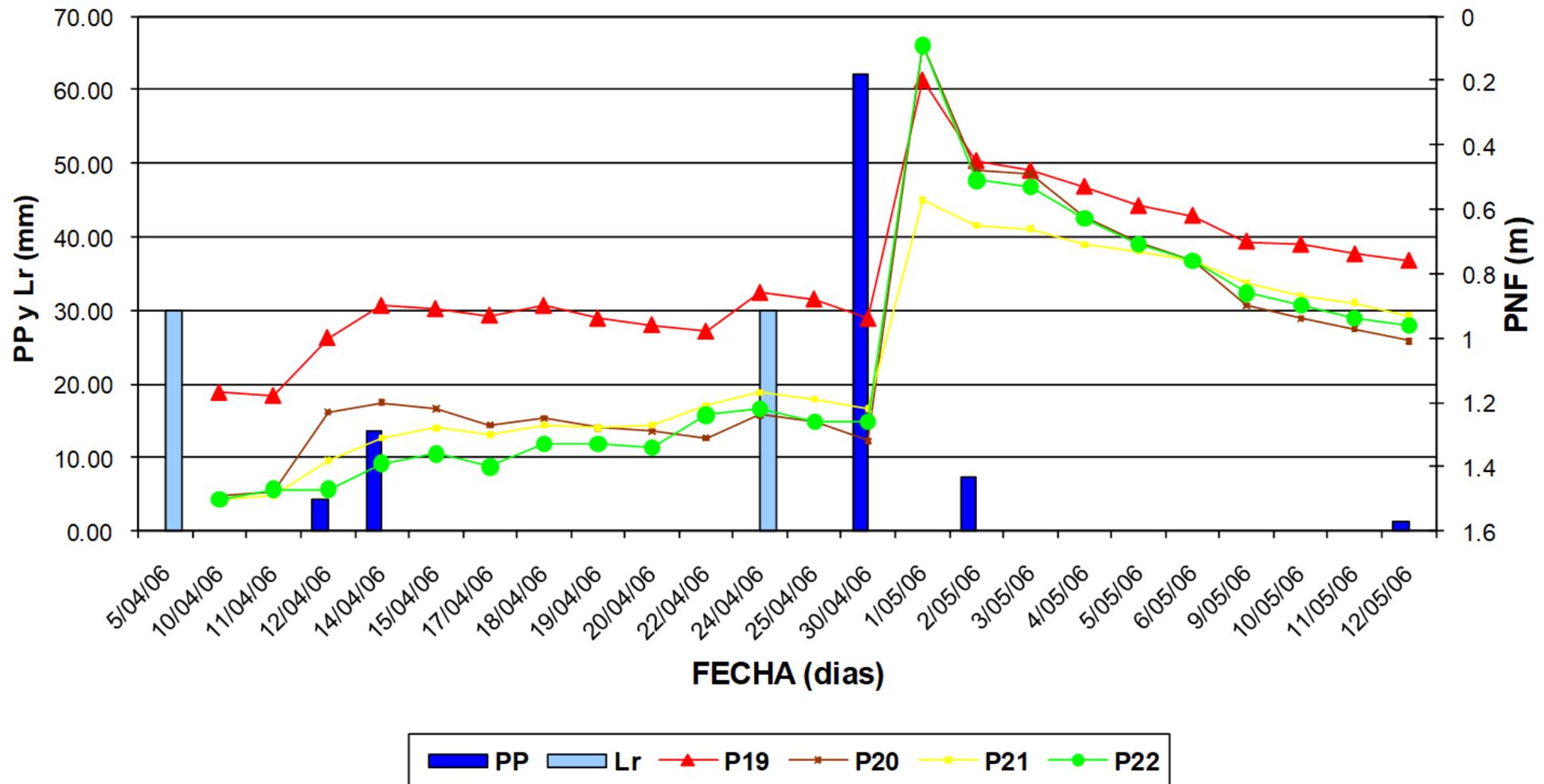


FIGURA 12. Monitoreo de la posición del manto freático en los pozos de observación 19, 20, 21 y 22.

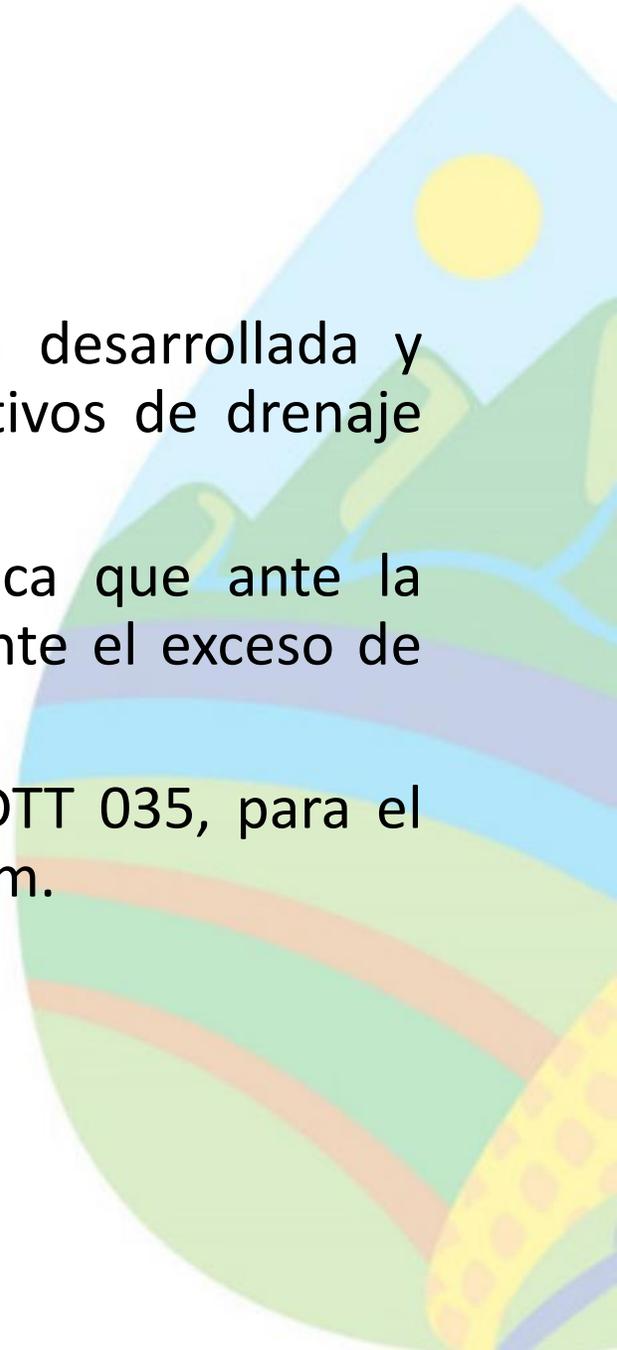


Conclusiones

En este trabajo se presenta la aplicación de una metodología desarrollada y adaptada por el IMTA para la instalación de módulos demostrativos de drenaje parcelario subterráneo controlado.

La evaluación del funcionamiento del sistema de drenaje indica que ante la ocurrencia de una lluvia fuerte, el sistema desaloja adecuadamente el exceso de agua.

La separación entre drenes recomendada para las parcelas del DTT 035, para el cultivo de caña y con características similares del suelo, es la de 15 m.



GRACIAS



SEMARNAT

SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE
Y RECURSOS NATURALES



IMTA

INSTITUTO MEXICANO
DE TECNOLOGÍA DEL AGUA



**Quinto
Congreso Nacional
de Riego y Drenaje
COMEII-AURPAES 2019**

Septiembre 2019 | Mazatlán, Sinaloa



AURPAES, S.C.
Asociación Nacional de Asociaciones de Usuarios de Riego
Productores Agrícolas del Estado de Sinaloa S.C.

Contacto

Erickdel Castillo Solis, José
Rodolfo Namuche Vargas,
Heber Eleazar Saucedo Rojas,
Carlos Fuentes Ruiz.

Instituto Mexicano de
Tecnología del Agua

erickdel_castillo@tlaloc.imta.mx

