

**Diseño de un sistema de drenaje para el cultivo de
Jatropha curcas L. en la Finca Santa Lucía, lote San
José II, Choluteca, Honduras**

Miguel Antonio Baca Izaguirre

Zamorano, Honduras

Diciembre, 2009

ZAMORANO
CARRERA DE CIENCIA Y PRODUCCIÓN AGROPECUARIA

**Diseño de un sistema de drenaje para el cultivo de
Jatropha curcas L. en la Finca Santa Lucía, lote San
José II, Choluteca, Honduras**

Proyecto especial presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingeniero Agrónomo en el
Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

Miguel Antonio Baca Izaguirre

Zamorano, Honduras
Diciembre, 2009

**Diseño de un sistema de drenaje para el cultivo de
Jatropha curcas L. en la Finca Santa Lucía, lote San
José II, Choluteca, Honduras**

Presentado por:

Miguel Antonio Baca Izaguirre

Aprobado:

Gloria Arévalo, M.Sc.
Asesor principal

Miguel Vélez, Ph.D.
Director de Carrera de Ciencia y
Producción Agropecuaria

Nils Berger, Ph.D.
Asesor

Raúl Espinal, Ph.D.
Decano Académico

Carlos Gauggel, Ph.D.
Asesor

Kenneth L. Hoadley, D.B.A.
Rector

Juan Carlos Quezada, Ing. en
Agroindustria Alimentaria

Abelino Pitty, Ph. D.
Coordinador del Área de Fitotecnia

RESUMEN

Baca Izaguirre, Miguel. 2009. Diseño de un sistema de drenaje para el cultivo de *Jatropha curcas* L. en la Finca Santa Lucía, lote San José II, Choluteca, Honduras. Proyecto especial para optar al título de Ingeniero Agrónomo, Zamorano, Honduras, 2009.

El estudio se realizó en 50 ha del lote San José II en la Finca Santa Lucía de la empresa Agroindustria Piñón S.A., Choluteca, Honduras, en la temporada seca (Enero a Abril/09). Se georeferenció el área con GPS y se estudiaron los suelos mediante 69 barrenaciones espaciadas 75 m × 75 m, a 1.20 m de profundidad y nueve calicatas en los suelos representativos. Se determinó textura por el método de bouyoucos del primer horizonte. Se realizó un levantamiento topográfico: altimetría con Estación Total y con el programa ArcGIS se determinó la dirección de flujo superficial. Se instaló una red de freatómetros espaciados 150 m × 150 m, y 1.20 m de profundidad, donde se determinó conductividad hidráulica y posición del nivel freático. A partir del análisis de frecuencia de las lluvias se determinó lluvia de diseño de 50 mm/día con un periodo de retorno de 10 años. La escorrentía se calculó en 45 mm/día. Con los mapas de textura, topográfico, líneas de flujo y conductividad hidráulica se determinó la ubicación y longitud de los drenes colectores. No se observó un verdadero nivel freático, pero por la cantidad y ubicación de los moteos en el suelo se identificó un falso nivel freático entre 0.4 y 0.8 m de profundidad. Se concluyó que se debe implementar un sistema de drenaje superficial, que consiste en un cadren principal colector de 0.75 m de profundidad, ancho de boca de 2 m, base de 0.5 m, en la parte más baja del lote al que vierten, siete drenes secundarios con una profundidad de 0.5 m, ancho de boca de 1.80 m y bases de 0.3 m y 100 m de espaciamiento y a estos 65 drenes terciarios de 0.30 m de profundidad, ancho de boca 0.75 m y base de 0.2 m espaciados a 40 m. El dren principal tendrá una longitud de 461.38 m, y los secundarios entre 407 m a 532 m y los drenes terciarios de 50.14 m en promedio. El costo de implementación del sistema de drenaje es L. 168,595 = US \$.8,923.

Palabras clave: Conductividad hidráulica, drenaje superficial, freatómetros, nivel freático.

CONTENIDO

Portadilla.....	i
Página de firmas	ii
Resumen	iii
Contenido	iv
Índice de cuadros, figuras y anexos.....	v
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	3
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	14
4. CONCLUSIONES.....	27
5. RECOMENDACIONES	28
6. LITERATURA CITADA.....	29
7. ANEXOS.....	30

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadro

1. Datos de precipitación (mm) y evaporación (mm) en la estación total La Lujosa, Choluteca, Honduras.	3
2. Hoja de cálculo para la determinación de la frecuencia y periodo de retorno para el diseño del sistema de drenaje en la Finca Santa Lucía, Choluteca, Honduras.	5
3. Periodos de retorno y su probabilidad de ocurrencia para las precipitaciones de la Finca Santa Lucía, Choluteca, Honduras, 2009.	15
4. Clasificación por familia textural de los suelos en Santa Lucía, Choluteca, Honduras, 2009.....	18
5. Parámetros de diseño y dimensiones de drenes secundarios en lote San José II de la Finca Santa Lucía,	23
6. Parámetros de diseño y dimensiones del dren colector principal del lote San José II de la Finca Santa	24
7. Caudal máximo de cada dren secundario en el lote San José II de la Finca Santa Lucía, Choluteca, Honduras, 2009.	25
8. Costos de implementación de los drenes secundarios en la Finca, Santa Lucía, lote San José II, Choluteca, Honduras, 2009.	26
9. Costo de implementación del sistema de drenes superficial propuesto para la Finca Santa Lucía, Choluteca, Honduras, 2009.	26

Figura

1. Balance hídrico en el municipio de La Lujosa, Choluteca, Honduras, 2009.	4
2. Mapa red de barrenaciones en el lote San José II de la Finca Santa Lucía, Choluteca, Honduras, 2009.	7
3. Esquema de un freatómetro para determinar nivel freático y conductividad hidráulica.	8
4. Daños por encharcamiento y mal drenaje en el Cultivo de <i>Jatropha curcas</i> en el lote San José II de la Finca Santa Lucía, Choluteca, Honduras, 2009, (fotos tomadas en Octubre 2008).....	14
5. Mapa de curvas a nivel del lote San José II de la Finca Santa Lucía, Choluteca, Honduras, 2009.....	16

6. Mapa tridimensional del relieve del lote San José II de la Finca Santa Lucía, Choluteca, Honduras, 2009.	17
7. Mapa de líneas de flujo de agua del lote San José II de la Finca Santa Lucía, Choluteca, Honduras, 2009.	17
8. Mapa de distribución de suelos por familia texturales en el lote San José II en la Finca Santa Lucía, Choluteca, Honduras, 2009.	18
9. Infiltración instantánea, acumulada y básica en el lote San José II de la Finca Santa Lucía, Choluteca, Honduras, 2009.	19
10. Mapa de conductividad hidráulica del lote San José II en la Finca Santa Lucía, Choluteca, Honduras, 2009.	20
11. Sistema de la red de drenaje superficial tipo peine propuesto para el lote San José II de la Finca Santa Lucía, Choluteca, Honduras, 2009.	22
12. Esquema de los drenes colector principal y secundarios del lote San José II en la Finca Santa Lucía, Choluteca, Honduras, 2009.	25

Anexo

1. Mapa cartográfico de la Finca Santa Lucía, Choluteca, Honduras, 2009.	30
2. Valores de coeficiente de rugosidad (n) según las condiciones del dren.	31
3. Datos de infiltración instantánea, acumulada y básica en suelo (M/G)/F ⁺ determinada para el lote San José II de la Finca Santa Lucía, Choluteca, Honduras, 2009.	31
4. Clasificación de la conductividad hidráulica según su rapidez de movimiento.	31
5. Detalles de la conductividad hidráulica (Kh) en el lote San José, Finca Santa Lucía, Choluteca, Honduras,	32

1. INTRODUCCIÓN

Donde factores climáticos, condiciones hidrológicas, características del suelo, topografía y la utilización de la tierra dan lugar a que el agua permanezca sobre la superficie del suelo, es conveniente establecer una técnica para la evacuación de las aguas excedentes que saturan el suelo o se estancan en la superficie. Esto se logra con el drenaje agrícola que permite una mejor aireación del suelo, modifica la constitución física de las tierras, favorece la nitrificación, asegura la penetración más profunda de las raíces de las plantas en el suelo para un mejor aprovechamiento de los nutrientes y permite la remoción de sales del suelo (Arévalo y Araujo 1984).

Un sistema de drenaje agrícola es aquel que recibe el exceso de agua de las parcelas y lo conduce al drenaje principal que la evacúa fuera del área. El drenaje principal debe proporcionar una salida libre y segura para los drenes de las parcelas (Cavelaars 1973).

Los drenajes mejoran la eficiencia en la producción; ya que, en condiciones de alta humedad el desarrollo de las raíces se ve limitado y se refleja en el desempeño de la producción y en casos extremos causan la muerte del cultivo. Es así como en zonas donde se cuenta con suelos pesados, alta precipitación o elevado nivel freático, entre otras, existe la necesidad de implementar dichos sistemas para mejorar y optimizar la producción buscando mayor rentabilidad. Otras actividades de adecuación de tierras no serán eficientes sin antes haber corregido los problemas de drenaje (Ralph 1971).

En un sentido amplio se considera parte del sistema de drenaje cualquier obra o instalación que extrae agua del terreno. Se incluye por lo tanto la red de desagües superficiales, cuyo objetivo es la eliminación del agua superficial así como los drenes subterráneos que efectúan un control sobre la capa freática (Hernández 1991).

En el 2008 durante el periodo de lluvias en la zona sur de Honduras, la plantación de piñón que se encontraba en el lote San José II de la Finca Santa Lucia de AGROIPSA se vio severamente afectada, debido al exceso de agua que no se pudo evacuar y a problemas de drenaje interno y externo del suelo. En dicho lote se perdió 85% de la plantación por inundación e inexistencia de drenaje en las áreas centrales que equivalen a 75,905 plantas con un costo aproximado de L.10 cada una.

El objetivo de este estudio fue diseñar un sistema de drenaje con criterios técnicos y realizar un análisis de costos para su implementación en el lote San José II de la Finca Santa Lucía de la empresa Agroindustria Piñón S.A (AGROIPSA) en Choluteca, Honduras. Como objetivos específicos se planteó identificar el problema de drenaje existente, establecer parámetros hidrodinámicos del suelo, definir el tipo de sistema de drenaje a implementar y los costos de implementación.

1. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo entre Enero y Abril de 2009 en el lote San José II de la finca Santa Lucía, ubicada 12 km al oeste de Choluteca, zona sur de Honduras. El área de estudio es de 50 ha, que se encontraban cultivadas con piñón (*Jatropha curcas*) (Anexo 1). La finca está ubicada a una altura promedio de 27 msnm con precipitación y temperatura promedio anual de 2710 mm y 29 °C, respectivamente.

2.1 ESTUDIO CLIMATOLÓGICO

2.1.1 Distribución de las lluvias

Se utilizaron los datos de las estaciones climatológicas de La Lujosa y Marcovia del Proyecto de Manejo de Agua, para realizar un balance hídrico con registros mensuales, determinando de esta manera las épocas con déficit y máxima intensidad de lluvia (Arévalo *et al.* 2005) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Datos de precipitación (mm) y evaporación (mm) en la estación total La Lujosa, Choluteca, Honduras.

Descripción	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Precipitación	1	3	9	31	256	245	123	214	355	270	68	7
Evaporación	284	252	270	255	216	160	183	204	145	144	149	232

2.1.2 Balance hídrico

Para el cálculo del balance hídrico se utilizó como método el de Thornthwaite y Matter (Berger 2005). El balance hídrico muestra que en los meses de Enero a Abril hay un déficit de más de 200 mm/mes, en Mayo y Junio hay un equilibrio de lluvia y evaporación, en Julio hay déficit de 60 mm, y entre Agosto y Octubre hay un ligero exceso de 50 a 60 mm/mes. A partir de finales de Octubre se presenta de nuevo un déficit hídrico superior de 50 mm en Noviembre y 175 mm en Diciembre (Figura 1).

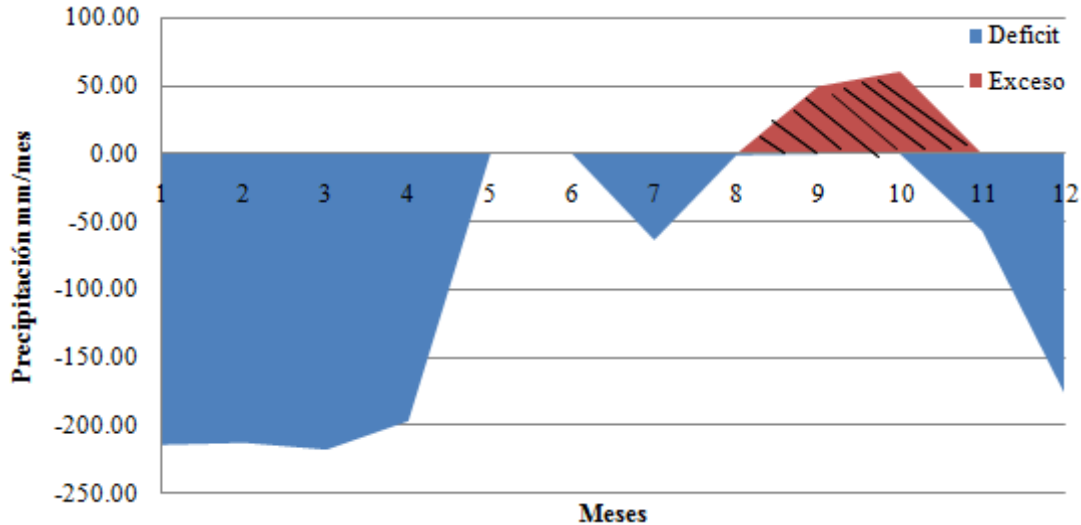


Figura 1.. Balance hídrico en el municipio de La Lujosa, Choluteca, Honduras, 2009.

2.1.2 Determinación del periodo de retorno

El análisis de frecuencia de eventos de lluvia es una herramienta utilizada para predecir el comportamiento futuro de los caudales en un sitio de interés, a partir de la información histórica de las lluvias ocurridas en un periodo dado. Su confiabilidad depende de la longitud y calidad de la serie histórica (Pizarro 1978).

El análisis de precipitación se realizó para determinar el tipo de diseño y los costos de construcción de los drenes. Para este estudio se hizo un análisis de frecuencia de lluvias de 1972 a 2008 registradas en la estación climatológica de Marcovia. Los datos estaban dados en milímetros por mes y el número de días de lluvia, por lo que la precipitación se calculó como precipitación por número de días de lluvia por mes. No se contaba con datos de intensidades de precipitación.

El diseño del drenaje se basa en los excesos de agua lluvia que producen escorrentía, por lo cual se realizó un estudio de frecuencia de lluvias para establecer la lluvia crítica. Basado en consideraciones económicas y de seguridad se estableció un periodo de retorno de 10 años, o sea la lluvia que ocurre con una probabilidad cada 10 años (Pizarro 1978).

Se establecieron rangos de precipitación (P_i) (Cuadro 2) y se ordenaron de mayor a menor dando un número de orden a cada rango (i) y un número de observaciones en cada rango (n), la frecuencia de precipitación (N_i) se determinó como la razón entre el número de observaciones (n) y el número total de observaciones (3064). Se aplicó el procedimiento hasta encontrar en n° de veces por año que la lluvia es superada (Cuadro 2).

Cuadro 2. Hoja de cálculo para la determinación de la frecuencia y periodo de retorno para el diseño del sistema de drenaje en la Finca Santa Lucía, Choluteca, Honduras.

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
i	P_i	n	N_i	M_i	1-(5)	1/(5)	(7)/365	365/(7)
1	91-81	17	0.006	1.0000	0	1.0000	0.0027	365.0
2	80-76	16	0.005	0.9945	0.0055	1.0056	0.0027	363.0
3	75-70	12	0.004	0.9892	0.0108	1.0109	0.0027	361.1
4	69-65	21	0.007	0.9853	0.0147	1.0149	0.0027	359.6
5	64-58	45	0.015	0.9785	0.0215	1.0220	0.0028	357.1
6	57-53	33	0.011	0.9638	0.0362	1.0376	0.0028	351.8
7	52-48	125	0.041	0.9530	0.0470	1.0493	0.0028	347.8
8	47-43	186	0.061	0.9122	0.0878	1.0962	0.0030	333.0
9	41-37	193	0.063	0.8515	0.1485	1.1744	0.0032	310.8
10	36-32	143	0.047	0.7885	0.2115	1.2682	0.0034	287.8
11	31-27	174	0.057	0.7418	0.2582	1.3480	0.0036	270.8
12	26-22	528	0.172	0.6851	0.3149	1.4597	0.0039	250.0
13	21-17	593	0.194	0.5127	0.4873	1.9504	0.0053	187.1
14	16-12	526	0.172	0.3192	0.6808	3.1329	0.0085	116.5
15	11-7	304	0.099	0.1475	0.8525	6.7788	0.0185	53.8
16	6-2	42	0.014	0.0483	0.9517	20.7027	0.0567	17.6
17	1-0	3	0.001	0.0346	0.9654	28.9057	0.0791	12.6
18	<1	103	0.034	0.0336	0.9664	29.7476	0.0815	12.3
Total		3064	1.000					

Parámetros para el diseño de lluvia

(1) = número de orden (i)

(2) = Intervalo de precipitación (mm) (P_i)

(3) = Número de observaciones (n)

(4) = Frecuencia de la precipitación (N_i) = $n/3064$

(5) = Frecuencia como es igualada o superada la precipitación (M_i) = $1-N_i$

(6) = Frecuencia de las precipitaciones inferiores a M_i

(7) = Periodo de retorno en días

(8) = Periodo de retorno en años

(9) = Número de veces por año en que la lluvia supera P_i

M_i = Suma del numero de observaciones (3) de la precipitaciones de orden igual o superior a (i)

Sumatoria $N_i = 3,650$ días en 10 años

La lluvia crítica fue de 47 a 50 mm/día ya que el 91% de las veces superó el intervalo de precipitación con un periodo de 333 días en el año.

2.2 ESTUDIO TOPOGRÁFICO

El levantamiento topográfico se realizó con ayuda de una Estación Total cedida por la Carrera de Desarrollo Socio Económico y Ambiente de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano y los datos de mapeo se elaboraron con el programa ArcGis versión 9.0, en la primera semana de febrero de 2009. Estos datos fueron utilizados para determinar pendiente y con ellas la posición y dirección de los drenes. Los puntos topográficos fueron tomados a cada 50 m en una red de mediciones uniforme a lo largo de 50 ha, generando la altimetría y las curvas a nivel.

2.2.1 Las curvas a nivel

Del estudio topográfico se realizó el mapa de curvas a nivel con el programa ArcGis, que se utilizó para determinar las áreas de posibles encharcamientos y la ubicación de los puntos de concavidad o más bajos del terreno.

2.2.2 Líneas de flujo del agua superficial

Las líneas de flujo se determinaron a partir del plano topográfico de curvas a nivel con el programa ArcView versión 2005. Ellas indican la dirección del flujo superficial del agua desde la parte más alta a la más baja. Con ellas se determinó la dirección y la ubicación de los drenes.

2.3 ESTUDIO DE SUELOS

Se realizaron barrenaciones en cuadrícula fija espaciadas a $75\text{ m} \times 75\text{ m}$ a una profundidad de 1.20 m formando una red de 69 barrenaciones (Figura 2). En cada barrenación se observó la profundidad que presentan los suelos y el número de horizontes. Se realizaron nueve calicatas distribuidas en el área. En cada horizonte se midió grosor, textura, color, estructura, consistencia, resistencia a la penetración, raíces y límites hasta encontrar estratos impermeables (Arévalo y Gauggel 2008).

Los suelos se agruparon por familias texturales a partir de la descripción de perfiles. Se utilizó la nomenclatura textural (Arévalo y Gauggel 2008).

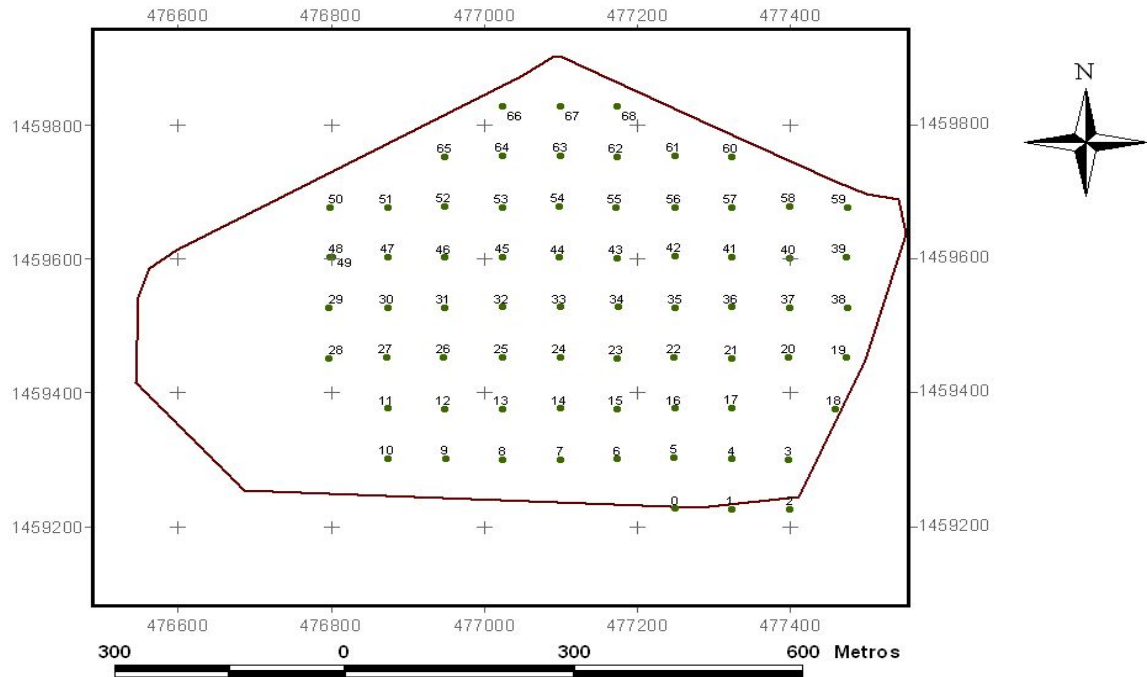
M = Texturas francas (franco limoso, franco arenoso y franco).

F⁻ = Texturas con arcillas livianas (Franco Arcilloso, Franco arcillo limoso, franco arcillo arenoso) con menos de 35% de arcilla.

F⁺ = Texturas con arcillas pesadas (Franco Arcilloso, Franco arcillo limoso, franco arcillo arenoso, arcilloso, arcillo limoso, arcillo arenoso) con más de 35% de arcilla

Gg = Piedra y grava.

G = Arena y arena gruesa



PROYECCIÓN GEOGRÁFICA: UTM
ZONA: 16

Figura 2. Mapa red de barrenaciones en el lote San José II de la Finca Santa Lucía, Choluteca, Honduras, 2009.

2.3.1 Infiltración

La infiltración es la capacidad del suelo para absorber agua conforme ésta se mueve desde la superficie a capas más profundas (Reilly *et al.* 2002). Para la determinación de infiltración básica se utilizó el método del doble cilindro incorporando dos recipientes plásticos donde el tubo con mayor diámetro encerraba el cilindro del centro, los cuales se enterraron a 5 cm de profundidad para estabilizarlos y reducir su inclinación. Se calculó la infiltración básica, instantánea y acumulada (Brandão S. *et al.* 2006).

2.3.2 Nivel freático

El nivel freático se determinó con freatómetros. Estos consisten en un tubo PVC, de 1.20 m de largo y 5 cm de diámetro, con perforaciones desde los 0.60 m; a cada 150 m se formó una red freatimétrica en cuadrícula, se instaló un tubo de PVC en cada agujero. Las observaciones de presencia y profundidad del nivel freático se realizaron en la temporada seca.

2.3.3 Conductividad hidráulica

La conductividad hidráulica se determinó por el método del pozo invertido (Dieleman 2000), que consiste en llenar con agua los freáticos hasta el nivel del suelo y medir el tiempo de infiltración o descarga. Para la medición, un flotador atado a una cuerda, se introdujo dentro del freático. Se registró el descenso del nivel del agua a 30 s, 1, 2, 5, 8, 10 y 15 minutos (Figura 3).

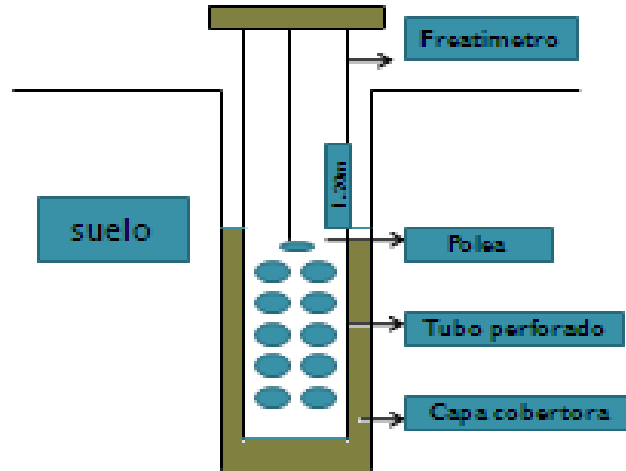


Figura 3. Esquema de un freático para determinar nivel freático y conductividad hidráulica.

La conductividad hidráulica se calculó con la ecuación (Dieleman 2000):

$$k = 1.15r [\text{Log}(h_1 + r/2) - \text{Log}(h_n + r/2)] / (t_n - t_1) \quad [1]$$

Donde:

- k = Conductividad hidráulica (cm/min)
- r = Radio del freático (cm)
- h_1 = Altura inicial (cm)
- h_n = Altura final (cm)
- t_1 = Tiempo inicial (min)
- t_n = Tiempo final (min)

2.3 DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA DE DRENAJE Y DISEÑO DEL SISTEMA

La ubicación de los drenes se determinó en función de los datos topográficos utilizando las curvas a nivel, ubicación de la altura del terreno, pendientes, áreas de mayor anegamiento, mapa de líneas de flujo y conductividad hidráulica con el objetivo de cortar el flujo de exceso de agua y dirigirlo a un dren principal para evacuar el agua de escorrentía del terreno.

El drenaje natural fue determinado mediante observación en el campo identificando problemas de mal drenaje superficial y topografía. La caracterización de los suelos mostró una capa impermeable con arcilla pesada a una profundidad de 0.3 a 0.4 m. En los pozos de observación no se encontró agua freática. Con base en los resultados se determinó el diseño de un sistema de drenaje superficial en cuatro fases:

1. Determinación de la escorrentía (E)
2. Determinación del coeficiente de drenaje (Cd)
3. Trazado y diseño de la red de drenes
4. Estimación de costos de implementación del sistema de drenaje.

2.4.1 Determinación de Escorrentía

La escorrentía superficial es el agua que proviene de la precipitación, no se infiltra y, escurre sobre la superficie del suelo. La escorrentía ocurre cuando la precipitación supera la capacidad de infiltración del suelo. Se utilizó el método de balance hídrico para determinar la escorrentía (Villón 2004).

$$E = P - I - E_v \quad [2]$$

Donde:

E = Escorrentía total (mm)
 P = Precipitación extrema (mm/día)
 I = Infiltración total (mm/día)
 E_v = Evaporación (mm/día)

2.4.2 Determinación del coeficiente de drenaje

El coeficiente de drenaje (Cd) indica el exceso de agua que debe ser removida y se expresa como un caudal por unidad de área (L/ha); se obtuvo mediante la ecuación (Villón 2004):

$$C_d = 4.573 + 1.62 \times E \quad [3]$$

Donde:

Cd= Coeficiente de drenaje (L/ha)

E = Escorrentía total (mm)

2.4.3 Trazado y diseño la red de drenaje

Caudal de diseño de los drenes

El caudal de diseño de un dren es el volumen de agua que atravesará el dren para drenar un área determinada y en un tiempo determinado. El caudal de diseño se determinó con la ecuación (Villón 2004):

$$Q=Cd \times (A)^{5/6} \quad [4]$$

Donde:

Q = Caudal (L/s)

A = Área (ha)

Cd = Coeficiente de drenaje

Cuando se unen dos o más drenes, el caudal de diseño se determinó por la regla del 20-40, la cual consiste en los siguientes casos (Villón 2004):

Caso 1

El área tributaria menor de uno de los colectores está comprendida entre 40 y 50% del área total; el caudal de diseño se calcula sumando ambos caudales.

$$Q_d = Q_1 + Q_2 \quad [5]$$

Las dimensiones de cada dren se calcularon con base en los siguientes parámetros hidráulicos:

Q = Caudal (m³/s)

v = velocidad media del agua (m/s)

S = pendiente (m/m)

n = coeficiente de rugosidad (sin unidades)

Z = talud (m)

b = ancho de solera o plan (m)

y = tirante (m)

A = área hidráulica (m²)

B.L. = H-y= bordo libre (m)

H = profundidad total desde la corona al fondo del canal (m)

C = ancho de corona (m)

boca = ancho del dren en su parte superior (m)

Velocidad media del agua en los drenes (v)

Los problemas de sedimentación creados por velocidades muy bajas, demandan mayores gastos de mantenimiento, porque se embancan y disminuye su capacidad de conducción. Por las características texturales de suelos franco arenosas hasta los 0.30 m que predominan en el área de estudio, se consideró una velocidad máxima de 0.6 m/s (Villón 2004).

Pendiente admisible en canales de tierra (S)

Se estableció una pendiente admisible en cada dren de 0.5-1.0% en función de la topografía y el tipo de suelo franco arenoso (Villón 2004).

Taludes (Z)

Por las restricciones de profundidad del suelo y las características texturales del mismo se utilizó un talud de 0.5:1 para los drenes secundarios y un talud de 1:1 para el dren primario (Villón 2004).

Coefficiente de rugosidad (n)

Se utilizó un coeficiente de 0.05 asumiendo que el dren será bien mantenido (limpio) (Anexo 2).

Tirante (y)

Es la profundidad de agua en el dren, y se determinó por la ecuación (Villón 2004):

$$\frac{[(b + Zy) y]}{(b + 2)(1 + Z^2 y)^2} = \frac{(Q \times n)^3}{S^{1/2}} \quad [6]$$

Donde:

b = base (m)

Z = talud

y = tirante (m)

Q= Caudal de evacuación (m³/s)

n = coeficiente de rugosidad

S = pendiente

Área hidráulica (A)

Se determinó mediante la ecuación de continuidad ya que se conoce el caudal y la velocidad (Villón 2009).

$$A = Q/v \quad [7]$$

A = Área hidráulica del dren (m^2)
 v = velocidad media del agua (m/s)
 Q = Caudal de evacuación (m^3/s)

Bordo libre (B.L.)

En relación al caudal se tiene que a $0.5 m^3/s$ se tendrá un bordo libre de $0.3 m$ con caudales mayores a $0.5 m^3/s$ se tendrá $0.4 m$ de bordo (Villón 2009). Para canales en tierra se deja un bordo libre o resguardo igual a un tercio del tirante, es decir:

$$B.L. = y/3 \quad [8]$$

Donde:

$B.L.$ = Bordo libre (m)
 y = tirante (m)

Profundidad total (H) desde la corona hasta el fondo del canal

La profundidad total del dren se encuentra una vez conocido el tirante de agua y el bordo libre mediante la siguiente ecuación (Villón 2004):

$$H = y + B.L \quad [9]$$

Donde:

H = profundidad total del dren (m)
 y = tirante del dren (m)
 $B.L.$ = Bordo libre (m)

Boca

Permite conocer la pérdida del área de siembra y que es ocupada por los drenes. El ancho de la boca del dren, se encuentra con la siguiente relación (Villón 2004):

$$boca = b + 2(1 + Z^2 \times H)^{1/2} \quad [10]$$

Donde:

b = base (m)
 Z = talud (m)
 H = profundidad total del dren (m)

Ancho de corona (C)

En función del caudal y el diseño del canal se puede considerar un ancho de corona de 0.60 m para caudales menores de 0.50 m³/s y 1.0 m para caudales mayores (Villón 2004).

2.4.4 Estimación de costos de implementación del sistema de drenaje

Se estimó el volumen de material a remover y se usó un costo de remoción por metro cúbico de L 65.

2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 DIAGNÓSTICO VISUAL

Se observó que en el terreno existen problemas de encharcamiento en las zonas más bajas. El anegamiento genera problemas sobre el desarrollo del cultivo causando muerte de las plantas por falta de oxígeno (Figura 4).



Figura 4. Daños por encharcamiento y mal drenaje en el cultivo de *Jatropha curcas* en el lote San José II de la Finca Santa Lucía, Choluteca, Honduras, 2009 (fotos tomadas en Octubre 2008).

3.2 ESTUDIO CLIMATOLÓGICO

3.2.1 Lluvia crítica de diseño

La precipitación máxima en Choluteca oscila entre 460-470 mm en Septiembre que es el mes de mayor precipitación. La tormenta de diseño para este estudio fue de 50 mm/día con una probabilidad de ocurrencia del 90% para un periodo de retorno de 10 años (Cuadro 3).

Cuadro 3. Periodos de retorno y su probabilidad de ocurrencia para las precipitaciones de la Finca Santa Lucía, Choluteca, Honduras, 2009.

Probabilidad de ocurrencia (%)	Periodo de retorno (años)	Predicción de precipitación (mm/día)
90	10	50
10	1	91

3.3 ESTUDIO TOPOGRÁFICO

Las curvas a nivel (Figura 5) y el mapa tridimensional indicaron una inclinación del terreno en dirección de sureste a noroeste (Figura 6), con una diferencia de elevación entre 22 y 27 msnm y una pendiente promedio de 2%. Las líneas de flujo del agua muestran que la escorrentía superficial sigue la dirección de la pendiente pero, en la parte más alta y en el extremo suroeste se presentan encharcamientos por la irregularidad del terreno. Además se encontró que las camas construidas están en contra de la pendiente lo que genera problemas de encharcamiento ya que impiden el paso del agua en la época de lluvia (Figura 7).

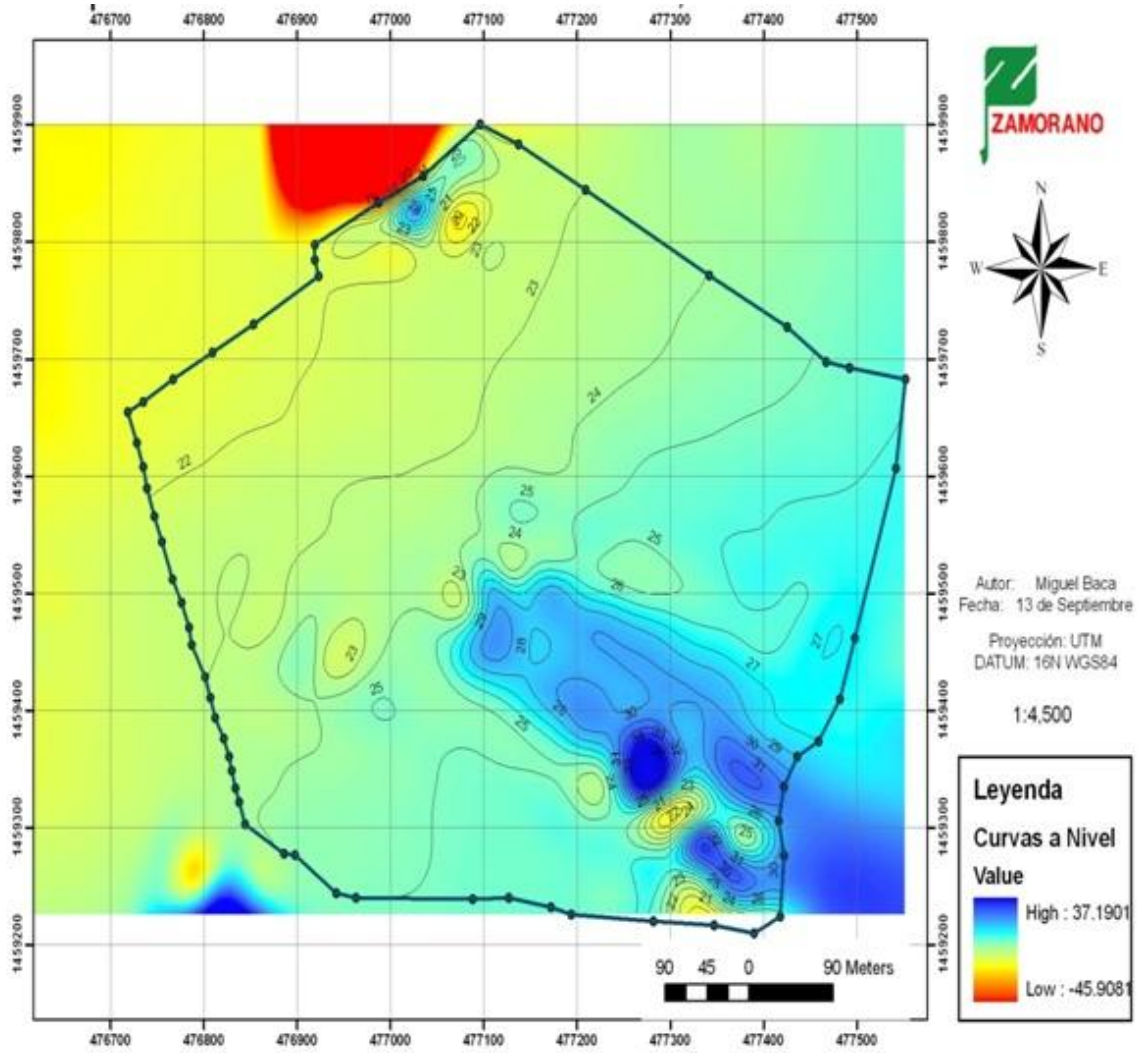


Figura 5. Mapa de curvas a nivel del lote San José II de la Finca Santa Lucía, Choluteca, Honduras, 2009.

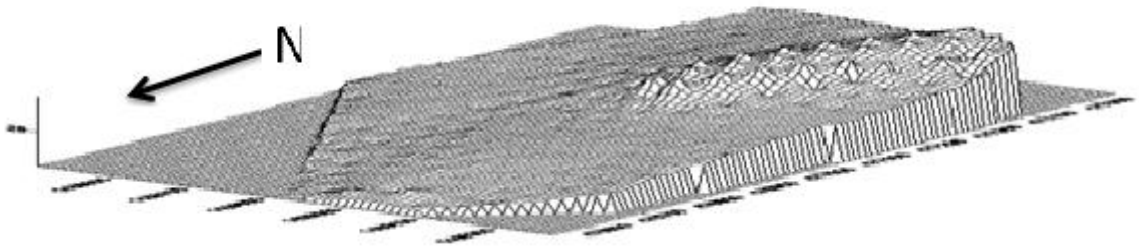


Figura 6. Mapa tridimensional del relieve del lote San José II de la Finca Santa Lucía, Choluteca, Honduras, 2009.

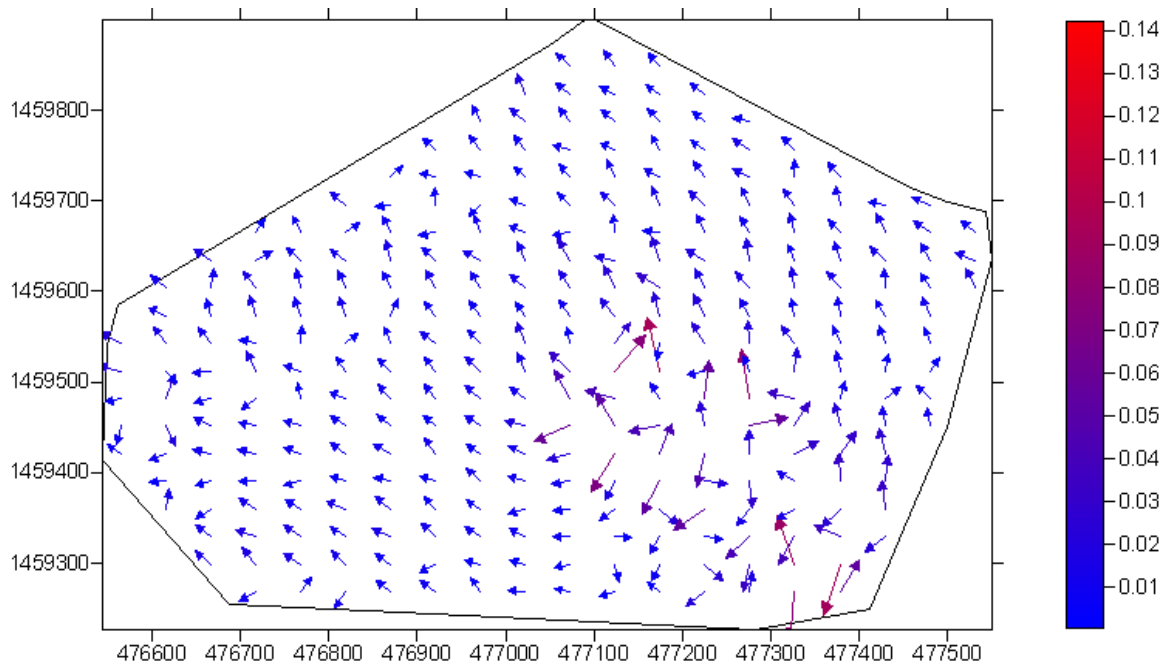


Figura 7. Mapa de líneas de flujo de agua del lote San José II de la Finca Santa Lucía, Choluteca, Honduras, 2009.

3.4 ESTUDIO EDÁFICO

El área evaluada presentó variaciones de suelos (Figura 8) que corresponden a tres subclases por familia textural (M/G)/F⁺; G/F⁺; F/F⁺, estos suelos presentan una profundidad efectiva limitada a 30 cm seguida por una capa impermeable con una resistencia a la penetración > 4.5 kg/cm² que limita la permeabilidad del suelo lo que causa un mal drenaje interno (Cuadro 4). La distribución de los suelos indica que las texturas gruesas (arenosa) predominan en el centro y sector SE del área hasta los 0.30 m de profundidad.

Cuadro 4. Clasificación por familia textural de los suelos en Santa Lucía, Choluteca, Honduras, 2009.

Tipo de suelo	Familias Texturales	Área	% del área
(M/G)/F ⁺	(M/F ⁺)/F ⁺ ; (M/F ⁻)/F ⁺ ; (F ⁻ /g)/F ⁺	10	20
G/F ⁺	(M/g)/(F ⁻ /F ⁺); (M/g)/(Gg/F ⁺); (M/g)/F ⁺	35	70
F/F ⁺	(M/F ⁻)/(g/F ⁺); (F ⁻ /g)/F ⁺	5	10

F⁺= Muy finas; F⁻= finas; M = medias; Gg = piedra o grava; g=gruesa; / = Variación textural
(/) = indican familia textural entre (00 a 30) (30 a 60) / (60 a 90) (90 a 120 cm)

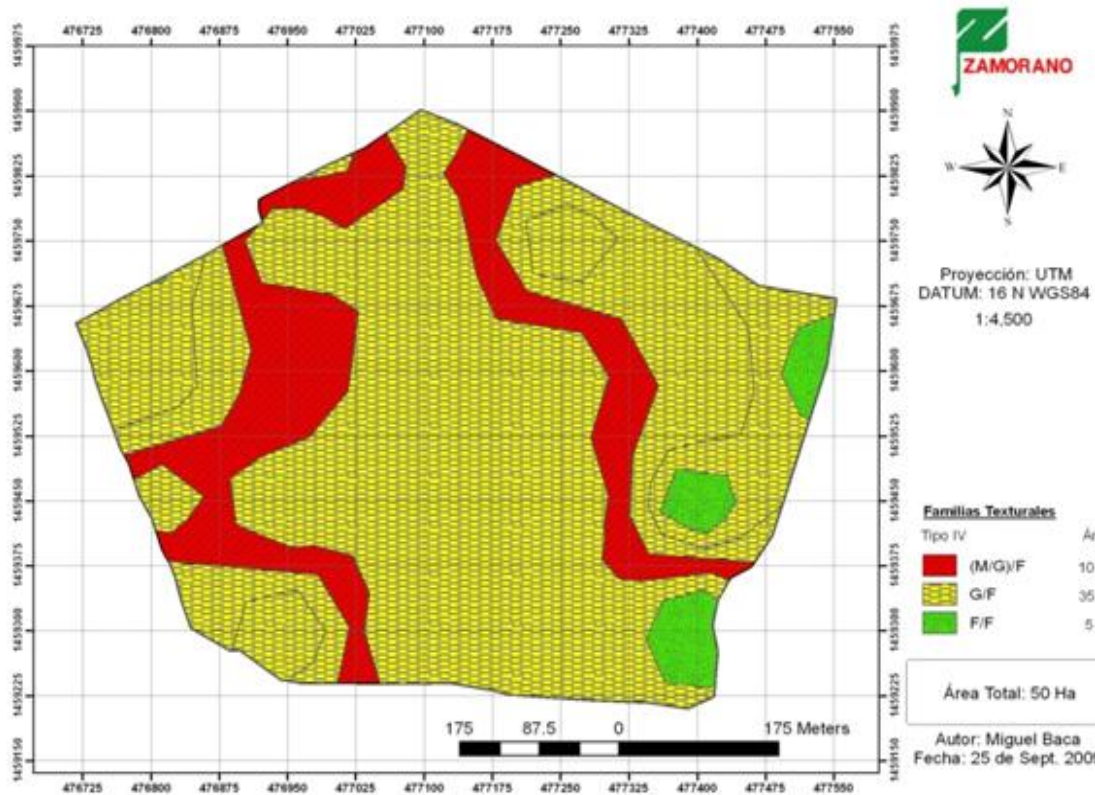


Figura 8. Mapa de distribución de suelos por familia textural en el lote San José II, Finca Santa Lucía, Choluteca, Honduras, 2009.

3.4.1 Infiltración básica

Se determinó una tasa de infiltración básica de 5 mm/h considerada moderada y corresponde al punto que la infiltración acumulada se cruza con la infiltración instantánea (Figura 9) (Anexo 3).

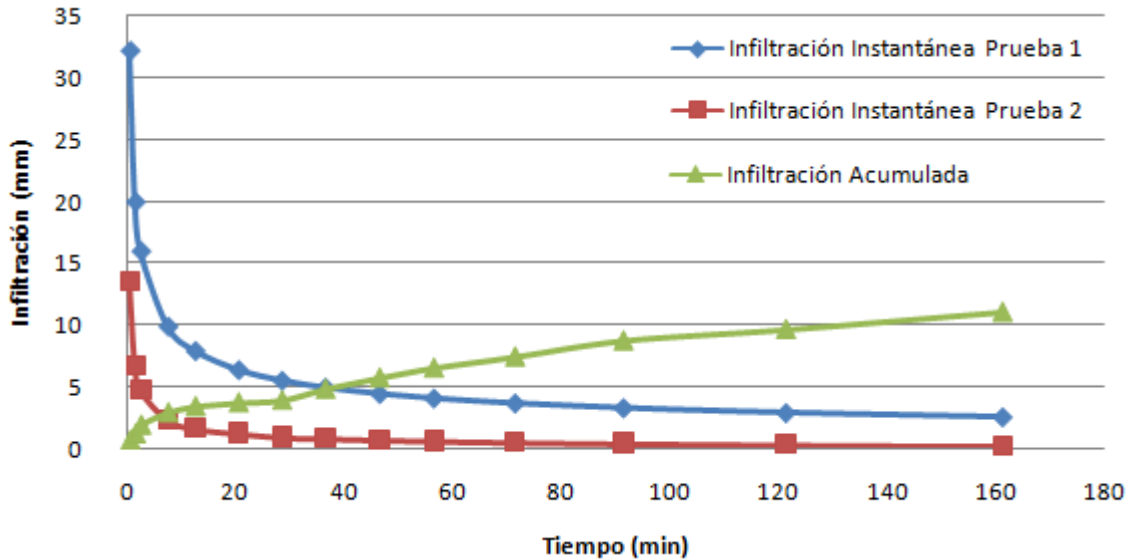


Figura 9. Infiltración instantánea, acumulada y básica en el lote San José II de la Finca Santa Lucía, Choluteca, Honduras, 2009.

3.4.2 Nivel Freático

No se detectó un nivel freático y los moteos en los horizontes inferiores de los perfiles del suelo indican una saturación del suelo a 0.4 y 0.8 m lo que probablemente genera un falso nivel freático proveniente de escurrimiento desde áreas laterales. Los suelos presentaron textura francas a gruesas sobre texturas muy finas con arcillas pesadas. El cambio abrupto de textura genera mayor acumulación y retención de agua y menor oxigenación.

3.4.3 Conductividad hidráulica (CH)

El 70% del área corresponde a los suelos de clase textural G/F⁺. La CH en el área restante varía entre lenta a moderada (Figura 10) (Anexo 4) ya que está influenciado por partículas gruesas en la parte superior y partículas finas (arcilla pesada) en horizontes sepultados y compactados (Anexo 5).

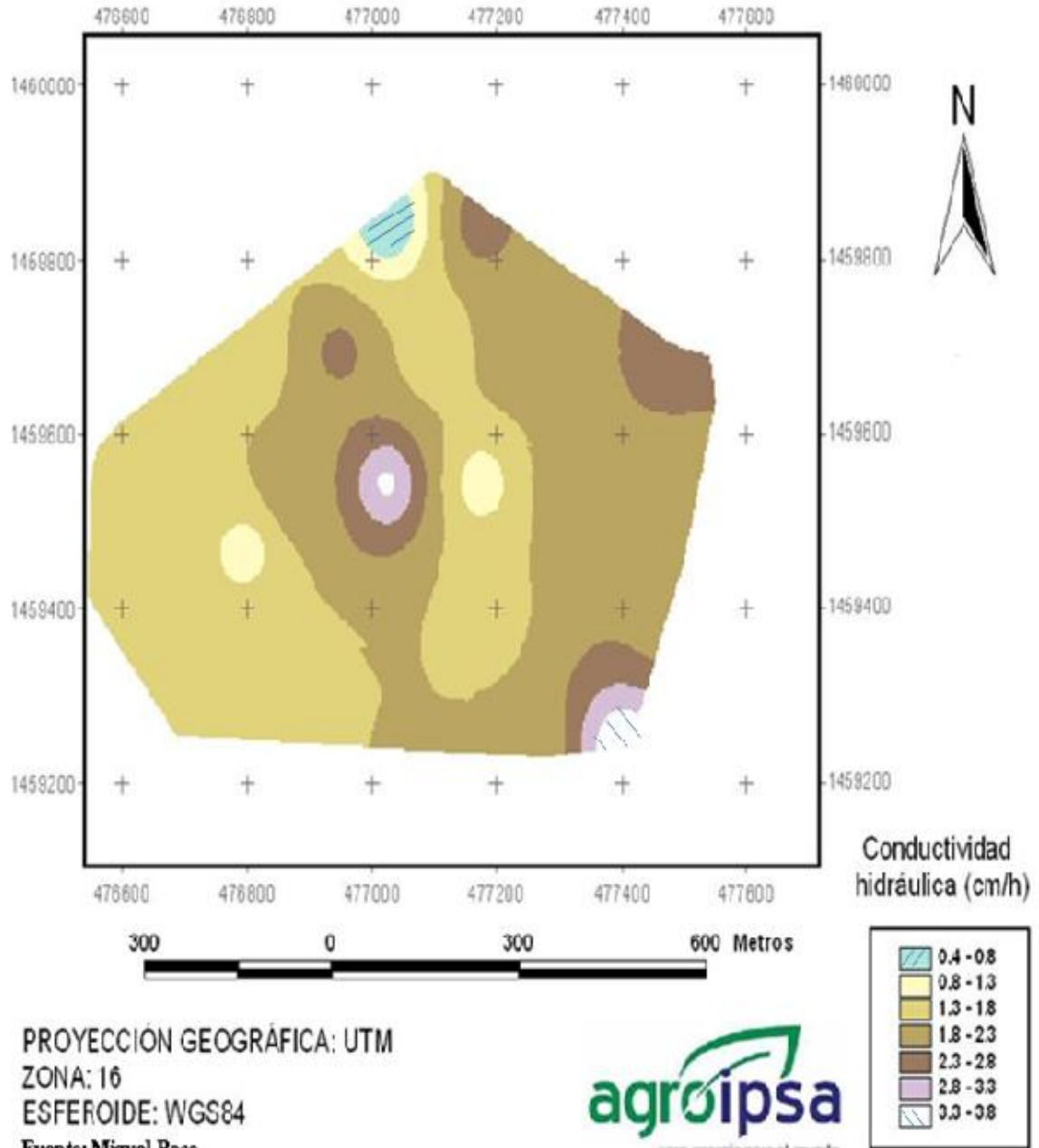


Figura 10. Mapa de conductividad hidráulica del lote San José II en la Finca Santa Lucía, Choluteca, Honduras, 2009.

3.5 DISEÑO DEL SISTEMA DE DRENAJE

El principal problema del lote San José II es el anegamiento por la posición topográfica el drenaje interno lento, la falta de drenajes naturales, la poca profundidad efectiva, los suelos arcillosos después de los 0.30 m, compactados con capas impermeables, la conductividad hidráulica lenta a moderada, concavidades que no tienen salida para drenar y una tormenta de diseño de 50 mm/día, una infiltración de 5 mm/h, evaporación 5 mm/día, escorrentía 45 mm/día y un coeficiente de drenaje de 11.86 L/s/ha. Estos factores llevaron a diseñar un drenaje superficial para evacuación del agua de exceso de lluvia, escorrentía y remoción del falso nivel freático, mediante una red de drenajes secundarios espaciada a una distancia entre 75 a 100 m y una red de drenajes terciarios espaciados a 40 m (Figura 11).

El sistema de drenaje contará con un dren colector principal (n° 2) ubicado en dirección noreste a suroeste y 6 drenes secundarios (6 a 11) ubicados de sureste a noreste adicionales a los cuatro perimetrales ya existentes (Drenes 1, 3, 4 y 5). Los drenes perimetrales impiden la entrada de agua desde otros terrenos. Se diseñaron 65 drenes terciarios espaciados a 40 m y ubicados en sentido noreste a suroeste perpendicular a la pendiente, los cuales desembocarán en los drenes secundarios para evacuar las áreas centrales removiendo los problemas de encharcamiento y anegamiento en estas áreas. El colector principal debe conectarse a un dren natural, aguas abajo, para asegurar el movimiento del agua. La construcción de este canal colector no se consideró en los cálculos de este estudio.

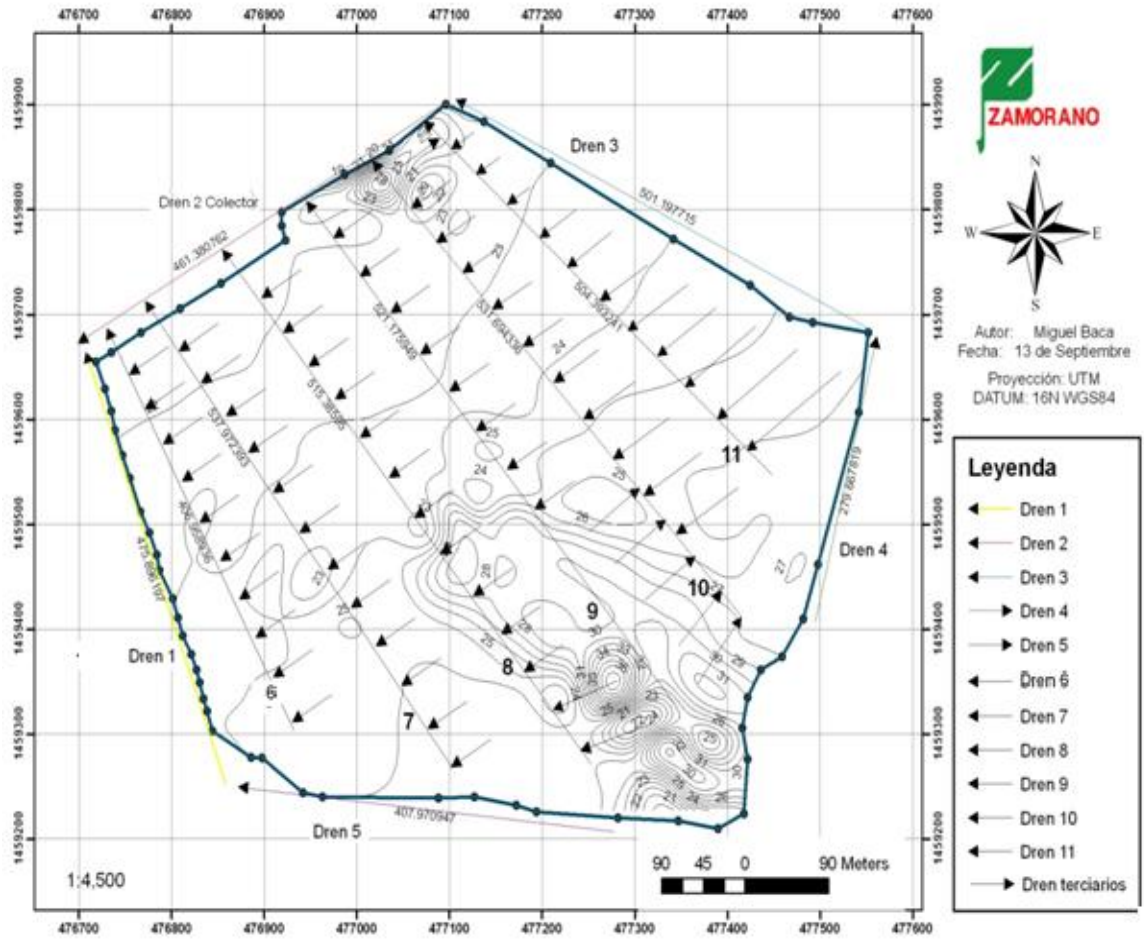


Figura 11. Sistema de la red de drenaje superficial tipo peine propuesto para el lote San José II de la Finca Santa Lucía, Choluteca, Honduras, 2009.

El caudal de diseño fue de $25,000 \text{ m}^3/\text{día}$ para las 50 ha y el caudal que se removerá a nivel de todos los drenes no excede el caudal de diseño, por lo tanto el sistema de drenaje propuesto cumple con las condiciones para ser implementado. Los parámetros hidráulicos mas las fórmulas de trazado de drenaje (Cuadros 5 y 6) determinaron los caudales máximos para el dren colector, secundarios (Cuadro 7) y terciarios. Con estos datos se calculó el caudal de cada dren y el área de drenaje.

Se diseñó un dren principal que evacuará el agua proveniente de los drenes secundarios, minimizando las pérdidas físicas y económicas que se generan por encharcamientos en el cultivo de piñón (*Jatropha curcas*). Se dimensionaron los drenes mediante un diseño trapezoidal (Figura 12).

Cuadro 5. Parámetros de diseño y dimensiones de drenes secundarios en lote San José II de la Finca Santa Lucía, Choluteca, Honduras, 2009.

Dren	Q (m ³ /s)	V (m/s)	S (m/m)	n	Z (m)	b (m)	y (m)	A (m ²)	B.L (m)	H (m)	C (m)	BD (m)	Longitud del dren (m)	Área drenada (m ²)
d1	0.041	0.6	0.52	0.050	0.5	0.3	0.35	0.068	0.3	0.5	0.6	1.80	475.89	856.60
d6	0.056	0.6	1.03	0.050	0.5	0.3	0.35	0.093	0.3	0.5	0.6	1.80	406.96	732.52
d7	0.062	0.6	0.91	0.050	0.5	0.3	0.35	0.103	0.3	0.5	0.6	1.80	537.97	537.97
d8	0.073	0.6	0.58	0.050	0.5	0.3	0.35	0.121	0.3	0.5	0.6	1.80	515.38	927.68
d9	0.066	0.6	0.96	0.050	0.5	0.3	0.35	0.11	0.3	0.5	0.6	1.80	521.17	938.10
d10	0.057	0.6	1.32	0.050	0.5	0.3	0.35	0.095	0.3	0.5	0.6	1.80	531.69	957.04
d 11	0.051	0.6	0.20	0.050	0.5	0.3	0.35	0.085	0.3	0.5	0.6	1.80	504.39	907.90
Total													3,493.15	6,288.18

Q = Caudal removido; v = velocidad del agua m/s ; S = Pendiente (m) ; n = Coeficiente de rugosidad ; Z= talud
 b = base; y = tirante ; A = área hidráulica ; B.L = Bordo libre ; H = profundidad ; C = ancho de corona ;
 BD = Ancho del dren (boca).

Cuadro 6. Parámetros de diseño y dimensiones del dren colector principal del lote San José II de la Finca Santa Lucía, Choluteca, Honduras, 2009.

Intersección	Q (m ³ /s)	V (m/s)	S (m/m)	n	Z (m)	b (m)	y (m)	A (m ²)	B.L (m)	H (m)	C (m)	BD (m)	Longitud del dren (m)	Área drenada (m ²)
d11 y d10 = dI1	0.108	0.6	0.59	0.05	0.5	0.30	0.30	0.18	0.3	0.60	0.6	1.98	504.39	1,008.78
dI1 y d9 = dI2	0.174	0.6	0.37	0.05	0.5	0.30	0.30	0.29	0.3	0.60	0.6	1.99	531.69	1,062.38
dI2 y d8 = dI3	0.247	0.6	0.19	0.05	0.5	0.50	0.35	0.411	0.4	0.75	0.6	2.00	521.17	1,042.34
dI3 y d7 = dI4	0.309	0.6	0.1	0.05	0.5	0.50	0.35	0.515	0.4	0.75	0.6	2.00	515.38	1,030.76
dI4 y d12 = dI5	0.365	0.6	0.18	0.05	0.5	0.50	0.35	0.608	0.4	0.75	0.6	2.00	537.97	1,075.94
dI5 y d1 = dI6	0.406	0.6	0.12	0.05	0.5	0.50	0.35	0.676	0.4	0.75	0.6	2.00	406.95	813.90
Total													3,017.55	6,034.10

Q=Caudal removido; v = velocidad del agua m/s ; S = Pendiente (m) ; n = Coeficiente de rugosidad ; Z = talud;
b = base; y = Tirante ; A = área hidráulica ; B.L = Bordo libre ; H = profundidad ; C = ancho de corona ;
BD = Ancho del dren (boca del dren).

Cuadro 7. Caudal máximo de cada dren secundario en el lote San José II de la Finca Santa Lucía, Choluteca, Honduras, 2009.

Caudal máximo de cada dren	Terreno drenado (ha)	Caudal removido (m^3/s)
Dren 1	4.71	0.041
Dren 6	6.85	0.056
Dren 7	7.79	0.062
Dren 8	9.42	0.063
Dren 9	8.47	0.066
Dren 10	7.04	0.057
Dren 11	6.20	0.051

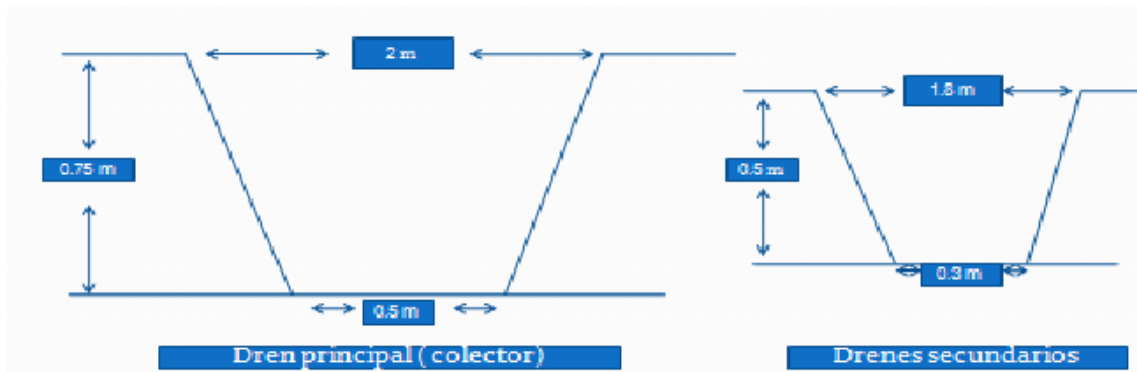


Figura 12. Esquema de los drenes colector principal y secundarios del lote San José II en la Finca Santa Lucía, Choluteca, Honduras, 2009.

5.1 Costo de implementación de drenaje

Para la implementación de este sistema de drenaje se debe usar una pala mecánica que remueva $2,594 m^3$ de tierra, el precio por metro cúbico de remoción de suelo es de L. 65.00 con lo cual se determinó el costo de excavación del dren colector, drenes secundarios (Cuadro 8) y terciarios (Cuadro 9) en L 168,595. Esta implementación comparada con el equivalente a la pérdida de plantas que ocurrió en 2008, justifica la inversión.

Cuadro 8. Costos de implementación de los drenes secundarios en la Finca, Santa Lucía, lote San José II, Choluteca, Honduras, 2009.

Dren	Volumen m ³	Costo (L.)
Ds1	249.84	16,240
Ds6	213.65	13,887
Ds7	282.43	18,358
Ds8	270.57	17,587
Ds9	273.61	17,785
Ds10	279.13	18,143
Ds11	264.80	17,212
Total	1,834.03	119,212

Ds = Dren secundario

Cuadro 9. Costo de implementación del sistema de drenes superficial propuesto para la Finca Santa Lucía, Choluteca, Honduras, 2009.

Dren	Tierra removida (m ³)	Costos (L.)
Principal	372.80	24,232
Secundarios	1,834.03	119,212
Terciarios	386.94	25,151
Total	2,593.77	168,595

\$1= 18.8951

3. CONCLUSIONES

- El lote San José II de La Finca Santa Lucía presenta problemas de drenaje superficial agravado por el esquema actual de siembra.
- Los suelos presentan grava y arena en el horizonte superficial y alto contenido de arcilla a partir de los 30 cm en todo el perfil, que actúan como capa impermeable que limita el drenaje interno y la profundidad de los drenes.
- Se requiere un drenaje superficial para evacuar los excesos de agua en el terreno conformado por una red de drenajes secundarios y un colector principal de 3, 493.15 m de longitud y 65 drenes terciarios
- El costo de implementación del sistema de drenaje es de L.168,595 = \$8,923

4. RECOMENDACIONES

- Implementar el sistema de drenaje superficial realizado en este proyecto para evacuar los excesos de agua por lluvias y escorrentía, y reducir futuras pérdidas del cultivo por inundación.
- En el futuro hacer sub-soleo regular a 0.80 m de profundidad en ángulo de 45° interno cuando el suelo este seco, seguido de un pase de una grada pesada (rastra) y luego una grada liviana.
- En otras plantaciones realizar estudios de suelo previo la instalación de un sistema de drenaje y definir el problema (drenaje superficial y/o sub-superficial) tomar acción y luego establecer el cultivo.
- Realizar un mantenimiento periódico de los drenes para aumentar su durabilidad.

5. LITERATURA CITADA

Arévalo, G. y Gauggel, C. 2008. Manual de prácticas. Curso de Manejo de Suelos y Nutrición Vegetal. Tercera edición. 80 p.

Arévalo, G. y Araujo, R. 1984. Determinación del espaciamiento y profundidad de drenes en el suelo de la serie marengo (MO), en el Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias.

Arévalo, G., Gauggel, C., Barahona, R., Flores, H., Cueva, F., De Jesús, L., Gurdíán, E. 2005. Estudio general de suelos de la cuenca baja del río Choluteca. Proyecto Manejo de agua en las cuencas de los ríos Choluteca y Negro. Zamorano-USAID. Colección Recurso hídricos. Primera edición. Tegucigalpa Honduras. Pag.16

Berger, N. 2005. Climatología Aplicada. Cuaderno universitario. Ed ULBRA, 2005. 85 p.

Brandão, S., Avelino, R., Falco, F., da Silva, D. 2006. Infiltración del agua al suelo. Tercera edición. 120 p.

Cavelaars, JC. 1973. Criterios de Drenaje Agrícola. En: Ulzurrun, M., Castillo, F., Martínez, J., Cavanillas, L. 1978. Principios y Aplicaciones del Drenaje. IV Diseño y Manejo de los Sistemas Agrícolas. Ed. International Institute for Land and Improvement. P.O. Wageningen Holanda. 137 p.

Dieleman, J. 2000. Estudio FAO: Riegos y drenajes. Ensayos de drenajes. Roma. Italia. Página 1. 40 p.

Hernández, A. 1991. Drenaje de tierras. Universidad del Valle. Departamento de Mecánica de Fluidos y Ciencias Térmicas. Facultad de Ingenierías. Página 4. 624 p.

Pizarro, F. 1978. Drenaje Agrícola y Recuperación de Suelos Salinos. Ed. Editorial Agrícola Española, S.A. Madrid 1978. Página 367.

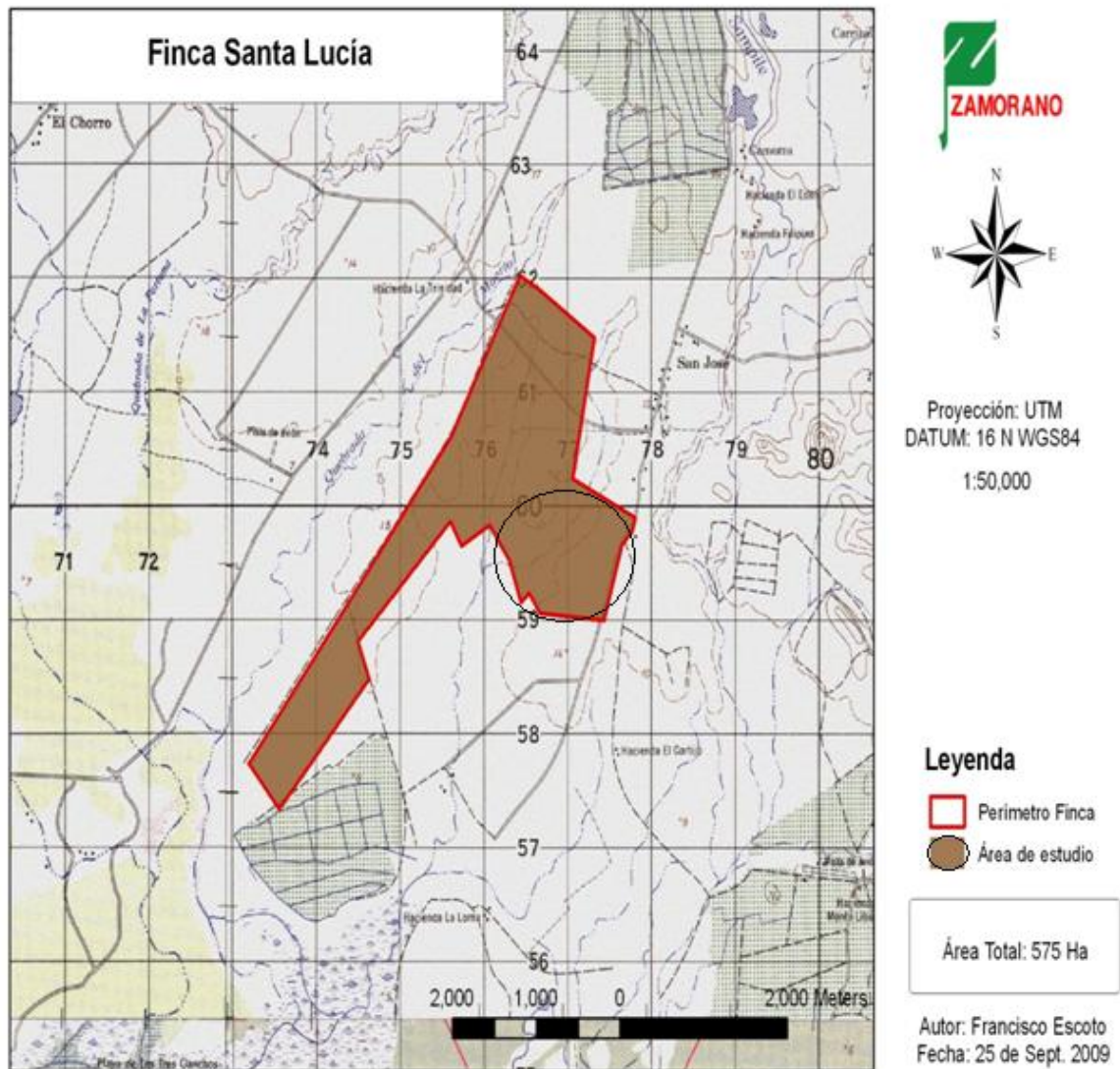
Ralph, H. 1971. Drainage of agricultural land. United States Soil Conservation Service. 1971. 576p.

Reilly, J., Trutmann, P., Rueda, A. (eds). 2002. Guía salud de suelos. Tegucigalpa, HN, Universidad de Cornell y Zamorano. 162 p.

Villón, M. 2004. Drenaje. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Ingeniería Agrícola. Ed. Editorial Centro de Información Tecnológica (CIT). Cartago - CR. 544 p.

6. ANEXOS

Anexo 1. Mapa cartográfico de la Finca Santa Lucía, Choluteca, Honduras, 2009.



Anexo 2. Valores de coeficiente de rugosidad (n) según las condiciones del dren.

Condición del dren	Valor de n
Muy limpio	0.022 - 0.030
Limpio	0.029 - 0.050
Con poca vegetación	0.040 - 0.067
Con moderada vegetación	0.050 - 0.100
Con exceso de vegetación	0.067 - 0.200

Fuente: Villón 2004.

Anexo 3. Datos de infiltración instantánea, acumulada y básica en suelo (M/G)/F⁺ determinada para el lote San José II de la Finca Santa Lucía, Choluteca, Honduras, 2009.

Tiempo mínimo (min)	cm/h		Infiltración Acumulada (cm/h)
	Prueba A1	Prueba A2	
0.5	32.2	13.5	0.8
1.5	20.0	6.7	1.3
2.5	16.0	4.8	2.0
7.5	10.0	2.4	3.0
12.5	8.0	1.7	3.5
20.5	6.4	1.3	3.8
28.5	5.6	1.0	4.0
36.5	5.0	0.9	4.9
46.5	4.5	0.8	5.8
56.5	4.1	0.7	6.6
71.5	3.7	0.6	7.5
91.5	3.4	0.5	8.8
121.5	3.0	0.4	9.7
161.5	2.6	0.3	11.1

Anexo 4. Clasificación de la conductividad hidráulica según su rapidez de movimiento.

Rapidez de movimiento	Conductividad hidráulica (cm/h)
Muy lenta	< 0.1
Lenta	0-1-0.5
Moderadamente lenta	0.5-2
Moderada	2-6
Moderadamente rápida	6-12
Rápida	12-18
Muy rápida	>18

Fuente: Villón 2004.

Anexo 5. Detalles de la conductividad hidráulica (Kh) en el lote San José, Finca Santa Lucía, Choluteca, Honduras, 2009.

Freatímetro	Longitud	Latitud	Altimetría (msnm)	Profundidad de la lamina de agua (cm)	Tiempo (min)	Kh (cm/hr)	Tipo de suelo
A1	13.19967	87.20996	24.82	42	41.5	1.80	M/F ⁻ /F ⁺
A2	13.19966	87.20858	25.51	70	41.5	3.80	G/F ⁺
A3	13.20034	87.21343	28.79	35	41.5	1.51	M/F ⁻ /F ⁺
A4	13.20101	87.21066	25.57	34	41.5	1.45	M/F ⁻ /F ⁺
A5	13.20102	87.20803	23.45	45	41.5	2.17	M/F ⁻ /F ⁺
A6	13.2017	87.21414	21.55	29	41.5	1.20	M/F ⁻ /F ⁺
B1	13.20238	87.21343	21.33	47	41.5	2.30	M/F ⁺ /F ⁻
B2	13.20239	87.21205	22.62	73	41.5	3.44	M/F ⁺ /F ⁻
C1	13.20239	87.20928	23.33	45	41.5	2.09	M/Gg..
C2	13.20238	87.20788	26.71	45	41.5	1.96	M/Gg..
D1	13.20307	87.20928	25.75	44	41.5	2.08	F ⁻ /G/F ⁺
D2	13.20305	87.21066	25.87	33	41.5	1.32	F ⁻ /G/F ⁺
E1	13.20375	87.21274	24.49	38	41.5	2.48	M/G/F ⁺
E2	13.20374	87.20997	23.76	44	41.5	2.17	M/Gg/F ⁺
E3	13.20374	87.20928	22.85	48	41.5	3.08	M/G/F ⁺
E4	13.20374	87.20788	21.92	55	41.5	2.80	M/Gg/F ⁺
E5	13.20443	87.20997	21.23	32	41.5	0.40	F ⁻ /F ⁺
F1	13.20511	87.21066	22.35	39	41.5	2.62	M/F ⁺

Kh = Conductividad hidráulica

