

**Diseño de un sistema de evacuación de agua
superficial para Zorrales, Zamorano,
Honduras**

Adolfo Manuel Smith Miller

Zamorano, Honduras

Noviembre, 2012

ZAMORANO
DEPARTAMENTO DE CIENCIA Y PRODUCCIÓN AGROPECUARIA

Diseño de un sistema de evacuación de agua superficial para Zorralles, Zamorano, Honduras

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

Presentado por:

Adolfo Manuel Smith Miller

Zamorano, Honduras
Noviembre, 2012

Diseño de un sistema de evacuación de agua superficial para Zorrales, Zamorano, Honduras

Presentado por:

Adolfo Manuel Smith Miller

Aprobado:

Gloria Arévalo, M.Sc.
Asesor principal

Abel Gernat, Ph.D.
Director
Departamento de Ciencia
y Producción agropecuaria

Carlos Gauggel, Ph.D.
Asesor

Raúl Zelaya, Ph.D.
Decano Académico

RESUMEN

Smith Miller, A.M. 2012. Diseño de un sistema de evacuación de agua superficial para Zorrales, Zamorano, Honduras. Proyecto especial de graduación del programa de Ingeniería en Agroindustria Alimentaria, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Honduras. 25 p.

Este estudio se realizó en el lote de Zorrales, Zamorano, Honduras, con un área de 27.4 ha, en la temporada lluviosa de mayo a octubre del 2012. Se georeferenció el área con GPS y se estudiaron los suelos mediante 120 barrenaciones espaciadas a 25 m x 25 m con una profundidad de 1.20 m y dos calicatas en los suelos representativos. Se instaló una red de ocho freatómetros espaciados a 150 m x 150 m con una profundidad de 1.00 m, donde se determinó que el 35% del área de estudio con suelos de clase textural F/Gg muestra conductividad hidráulica de 3.36 cm/h y no presenta nivel freático, mientras que el 65% del área de estudio con suelos de clase textural F⁻/F⁺ presenta conductividad hidráulica de 0.4 cm/h y un falso nivel freático a los 0.5 m de profundidad debido a la influencia de texturas muy finas. En el estudio topográfico, con el programa ArcGis versión 9.3 se generó curvas a nivel a partir del método de interpolación de curvas a nivel para ubicar la posición y dirección de los drenes en dirección Noroeste a este y la pendiente promedio de 2%. En el estudio climatológico se determinó una tasa de evaporación promedio de 3.87 mm/día y una tormenta de diseño de 104.29 mm/día con un periodo de retorno de 5 años. La escorrentía se calculó en 30.92 mm/día y el coeficiente de drenaje en 9,60 L/s/ha. Con los mapas de textura, topografía, interpolación de curvas, falso nivel freático y conductividad hidráulica lenta, se concluyó que se debe implementar un sistema de evacuación de agua superficial, que consiste en un dren principal colector que mide 100 m de largo con dimensiones de 1.20 m de profundidad, ancho de boca de 2 m, solera de 0.5 m y dos drenes secundarios con dimensiones de 0.90 m de profundidad, ancho de boca de 1.50 m, solera de 0.3 m y una longitud de 435 m y 160 m respectivamente, con capacidad de remover un caudal de 9,979 m³/día en 17.81 ha, que es el área afectada.

Palabras clave: Conductividad hidráulica, drenes, nivel freático, suelo.

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..... | 10 |
| 4. CONCLUSIONES | 19 |
| 5. RECOMENDACIONES | 20 |
| 6. LITERATURA CITADA..... | 21 |
| 7. ANEXOS | 23 |

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

| Cuadros | Página |
|--|--------|
| 1. Periodo de retorno y probabilidad de ocurrencia para las precipitaciones de Zamorano, Honduras. | 6 |
| 2. Clasificación por clase textural de los suelos en Zorrales, Zamorano, Honduras, 2012. | 10 |
| 3. Propiedades físicas de los suelos descritos en Zorrales, Zamorano, Honduras, 2012. | 12 |
| 4. Profundidad del nivel de agua de los freáticos en Zorrales, Zamorano, Honduras, 2012. | 13 |
| 5. Parámetro de diseño y dimensión de los drenes para Zorrales, Zamorano, Honduras, 2012. | 17 |
| | |
| Figuras | Página |
| 1. Mapa de red de barrenaciones en Zorrales, Zamorano, Honduras. | 4 |
| 2. Diagrama de los drenes para Zorrales, Zamorano, Honduras. | 9 |
| 3. Mapa de distribución de suelo por clase textural y ubicación de calicatas en Zorrales, Zamorano, Honduras. | 10 |
| 4. Mapa de red de freáticos en Zorrales, Zamorano, Honduras. | 13 |
| 5. Mapa de interpolación de curvas en Zorrales, Zamorano, Honduras. | 14 |
| 6. Mapa de distribución de pendiente en Zorrales, Zamorano, Honduras. | 15 |
| 7. Sistema de evacuación de agua propuesto para Zorrales, Zamorano, Honduras. | 16 |
| 8. Diagrama de las dimensiones de los drenes para Zorrales, Zamorano, Honduras. | 18 |

| Anexos | Página |
|---|--------|
| 1. Precipitación promedio de 1992 a 2011 en Zamorano, Honduras | 23 |
| 2. Tasa de evaporación promedio de los meses de Noviembre y Diciembre en Zamorano, Honduras. | 24 |
| 3. Velocidades medias del agua en el dren (V), según características del suelo. | 24 |
| 4. Valores de coeficiente de rugosidad (n) de acuerdo a las condiciones del dren. | 25 |
| 5. Valor del talud (Z) recomendado según el suelo. | 25 |
| 6. Ancho de la solera (b) en función del caudal. | 25 |

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad se debe producir gran cantidad de alimento y fibra para alimentar a una población creciente. Con el fin poder producir más, se debe aumentar la frontera agrícola, aumentar la productividad o incorporar nuevas tierras marginales. La frontera agrícola esta prácticamente acabada, con lo que las alternativas viables son aumentar productividad e incorporar tierras que, por diversas razones, son marginales para la agricultura (Villalobos 2005).

Siendo, desde luego, las condiciones climatológicas, y muy en especial el régimen de precipitaciones, el primer factor a tener en cuenta, existen otros, tales como la propia topografía y la permeabilidad, en los diversos horizontes del suelo, que pueden atenuar o agravar el problema en gran escala, ya que una fuerte tormenta causará un encharcamiento mucho mas prolongado si tiene lugar sobre una zona completamente llana y de baja permeabilidad que si cae sobre un terreno de suave pendiente hacia un colector y con buenas condiciones de evacuación de las aguas sobrantes procedentes de la infiltración (Sánchez 1981).

Cuando el suelo se satura rápidamente, las lluvias muy intensas pueden ocasionar considerablemente escorrentía aun en pendientes suaves. Los valores dependerán de la porosidad del suelo, su contenido de humedad, la intensidad de la lluvia y la cobertura del suelo (IRLI 1977).

En zonas húmedas la acumulación de agua en el suelo desplaza el oxígeno y afecta el desarrollo radicular, favorece el desarrollo de plantas de poco o ningún valor forrajero, el de enfermedades y plagas, y la acumulación de elementos tóxicos así como las pérdidas de nitrógeno por desnitrificación. En zonas áridas se presenta el fenómeno de la salinización de los suelos, la cual puede afectar el desarrollo de ciertos cultivos. En este clima el movimiento del agua en el suelo es mayormente ascendente; el agua arrastra sales disueltas que se precipitan en las capas superiores del suelo o sobre el mismo cuando se evapora (Vélez y Berger 2011).

Cuando no existe una capa freática alta, los problemas de drenaje de la superficie del suelo o de la zona radicular, serán debidos por una parte a elevadas intensidades de riego o de lluvia y por otra a una estructura deficiente del suelo que hace que el agua percole o se infiltre lentamente. Tales problemas pueden solucionarse por medio del drenaje superficial o mejorando las condiciones del suelo por medio de un adecuado manejo (De Paco 1969).

El drenaje agrícola consiste en la eliminación natural o artificial de los excedentes de agua tanto del perfil del suelo como de su superficie. Hay excedentes de agua cuando la cantidad existente afecta negativamente a la producción de los cultivos reduciendo el volumen de suelo disponible para sus raíces (Luthin 1967).

El drenaje superficial, tiene como finalidad la remoción del exceso de agua sobre la superficie del terreno y consiste en una serie de canales poco profundos que recogen la escorrentía superficial y la descargan a drenes colectores. La necesidad del drenaje superficial se justifica en zonas donde los factores climáticos, las condiciones hidrológicas, las características de los suelos, la topografía y la utilización de la tierra, dan lugar a que el agua permanezca inundando la superficie del suelo, durante un tiempo superior al que los cultivos pueden soportar sin manifestar serios efectos sobre los rendimientos y/o sobrevivencia (Villón 2004).

De muchas formas, la aeración del suelo también ejerce una influencia indirecta sobre el crecimiento de las plantas ya que afecta procesos biológicos del suelo y a las condiciones químicas. El suelo proporciona a los cultivos nutrientes esenciales para las plantas, además del agua y del oxígeno necesario para la respiración de las raíces. Si no se mantiene el suministro de agua y oxígeno, la velocidad de asimilación de nutrientes se reduce (Gavande 1979).

Con un drenaje adecuado el contenido de humedad de la superficie del suelo no sobrepasará, con media, la capacidad de campo. Esto es importante porque hay un margen más bien pequeño del contenido de humedad del suelo adecuado para el laboreo (Leitón 1985).

El principal objetivo de este estudio es diseñar un sistema de evacuación de agua superficial acorde a las necesidades y criterios técnicos para el área de producción de pastos de ganado lechero Zorrales, evaluar las propiedades físicas del suelo, así como sus características hidrodinámicas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio. El estudio se realizó en Zorrales, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. El área cuenta con 27.4 ha, las cuales se encuentran divididas en 30 parcelas, sembradas con dos tipos de pastos, Tanzania y Transvala, utilizado para producción de ganado lechero. El lugar presenta dos épocas climáticas, la época seca que comienza desde finales de Noviembre y termina a mediados de Mayo y la época lluviosa que va desde Mayo hasta Octubre. La elevación promedio es de 770 msnm y la precipitación anual de 1120 mm¹.

Estudio de suelo. Para describir las propiedades físicas del suelo se llevó acabo las siguientes actividades: Se realizó 120 barrenaciones a un distanciamiento de 25 m × 25 m y 1.20 m de profundidad (Figura 1). En cada barrenación se observó la profundidad del suelo, los horizontes presentes; así como el color, textura, profundidad de los suelos y los estratos impermeables. Con base en esta información se preparó un mapa con los grupos texturales de suelos y se determinó las áreas homogéneas para ubicar las calicatas.

Los suelos se agruparon por familias texturales mediante descripción de perfil utilizando la nomenclatura textural (Arévalo y Gauggel 2011).

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

F- = Texturas con arcillas livianas (franco arcilloso, franco arcillo limoso, franco arcillo arenoso, franco arcilloso con menos de 35% de arcilla).

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

Gg = piedra y grava.

¹ Álvarez, F. 2012. Profesor asociado en Riego y Maquinaria Agrícola. EAP Zamorano, Honduras. Comunicación personal.

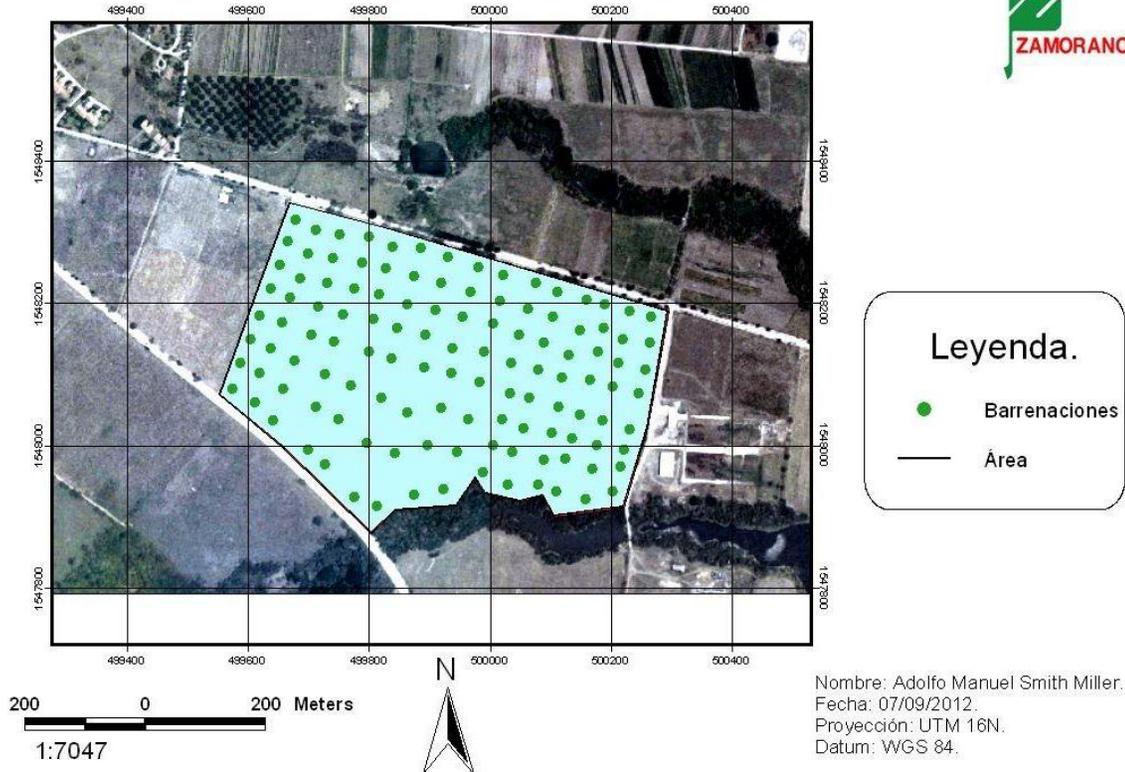


Figura 1. Mapa de red de barrenaciones en Zorralles, Zamorano, Honduras.

Fuente: A. Smith 2012.

Nivel freático. Para determinar la presencia de nivel freático, se instalaron ocho freatómetros, que consisten en tubos de PVC de 1.20 m de largo y 6.35 cm de diámetro, con agujeros hasta la mitad del tubo y colocados a un metro de profundidad en el suelo, respectivamente. Se colocó gravilla alrededor del tubo para evitar taponamiento y permitir el movimiento del agua a través del tubo. Se realizaron mediciones semanalmente para determinar la ubicación del manto freático durante el periodo de lluvia (Julio a Septiembre de 2012).

Conductividad hidráulica. La conductividad hidráulica se determinó en cada freatómetro por el método del pozo invertido (Dieleman 2000); el cual consiste en llenar con agua los freatómetros hasta el nivel del suelo y medir el tiempo de infiltración o descarga. Para la medición se colocó un flotador atado a una cuerda dentro del freatómetro y se tomó lecturas del descenso del nivel del agua cada dos minutos.

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/m)
- r = Radio del frentómetro (cm)
- h_1 = Altura inicial (cm)
- h_n = Altura final (cm)
- t_1 = Tiempo inicial (min)
- t_n = Tiempo final (min)

Estudio topográfico. Por medio del programa ArcGis versión 9.3 proporcionado por la Carrera de Ingeniería en Ambiente y Desarrollo de la EAP Zamorano, se determinó mediante interpolación de curvas de nivel, el porcentaje de pendiente y la posición y dirección de los drenes, utilizando datos gráficos de curvas de nivel. Gráficamente, las curvas de nivel se encuentran a un metro de separación, en altura independiente de la distancia longitudinal. Se procedió a interpolar a 0.25 cm en la gráfica para obtener curvas de nivel a partir de las curvas conocidas situadas en el plano.

La pendiente esta determinada por el cambio de altura en una distancia relativa y determina la velocidad del agua sobre la superficie del suelo y además con ella la posición y dirección de los drenes utilizando las curvas de nivel del área de estudio. El sistema de curvas de nivel para representar los accidentes del terreno es ventajoso porque la forma de las mismas curvas da a conocer la configuración general, puesto que resultan proyectadas en el plano como son realmente en el terreno; y además, sus respectivas distancias permiten apreciar las pendientes y aun encontrar la altura de un punto cualquiera (Márquez 2005).

Estudio climatológico. Se utilizaron datos de la estación climatológica de Zamorano con registros desde 1992 a 2011, para determinar la precipitación y evaporación promedio.

Tormenta de diseño. Para la determinación de la tormenta de diseño y su periodo de retorno se utilizó información existente (Mendoza Aguilar 2008). Estos muestran estadísticamente eventos de máxima precipitación y el intervalo de tiempo dentro del cual un evento puede igualar o exceder el caudal de máxima precipitación (Cuadro 1). Por lo tanto estos datos son validos y se pueden utilizar siempre y cuando no haya transcurrido más de 10 años desde que se generó la información¹

¹ Quiroz, C. 2012. Profesor asociado en Manejo Ambiental. EAP Zamorano, Honduras. Comunicación personal.

La tormenta de diseño y su periodo de retorno se determinó mediante el método probabilístico Log Pearson tipo III, esta distribución ha sido una de las más utilizadas en hidrología. Como la mayoría de las variables hidrológicas son sesgadas, este método se utiliza para ajustar la distribución de frecuencia variables tales como, valores de precipitaciones extremas y volúmenes de lluvia de corta duración (Ashkar *et al.* 1994).

Cuadro 1. Periodo de retorno y probabilidad de ocurrencia para las precipitaciones de Zamorano, Honduras.

| Probabilidad de ocurrencia (%) | Periodos de retorno (años) | Predicción de precipitación (mm/día) | Desviación estandar |
|--------------------------------|----------------------------|--------------------------------------|---------------------|
| 50 | 2 | 74.45 | 5.42 |
| 20 | 5 | 104.29 | 9.15 |
| 10 | 10 | 124.04 | 12.27 |

Fuente: Mendoza Aguilar (2008), adaptado por el autor.

Diseño del sistema de evacuación. La ubicación del sistema de evacuación de agua se determinó en función de la información obtenida de topografía, clima y caracterización de suelos. El diseño del drenaje se llevó a cabo tomando en cuenta los siguientes parámetros:

- Determinación de la escorrentía (E)
- Determinación del coeficiente de drenaje (Cd)
- Determinación del caudal de diseño (Q)
- Diseño de la red de drenes

Determinación de la escorrentía. 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). Los datos de evaporación se tomaron de la estación de Zamorano para los meses de Noviembre y Diciembre (Anexo 2).

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

Donde:

E= Escorrentía total (mm)

P= Precipitación extrema (mm/día)

k= conductividad hidráulica (mm/día)

E_v= Evaporación (mm/día)

Determinación del coeficiente de drenaje. El coeficiente de drenaje (C_d) 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:

C_d = Coeficiente de drenaje (L/ha)

E = Escorrentía total (mm)

Determinación del caudal de diseño. 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):

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

Donde:

Q = Caudal (L/s)

A = Área (ha)

C_d = coeficiente de drenaje

Dimensión de la red de drenes. Las dimensiones de cada dren se calcularon en base a los siguientes parámetros hidráulicos:

Caudal (Q), se obtuvo a través de la ecuación [4].

Velocidad media del agua en los drenes (V). Se utilizó una velocidad máxima de 0.90 m/s por las características texturales de suelo arcilloso que predomina en el área de estudio (Anexo 3) (Villón 2004).

Pendiente (S). Se determinó una pendiente del 2% en función de la topografía del terreno.

Coeficiente de rugosidad (n). Se utilizó un valor de 0.067 en función de la condición del dren con poca vegetación (Anexo 4) (Villón 2004).

Talud (Z). Los taludes se designan como la relación de la proyección horizontal a la vertical, de la inclinación de las paredes laterales. Por las restricciones de profundidad del suelo y considerando las características texturales se utilizó un talud de 0.5:1 para los drenes (Anexo 5) (Villón 2004).

Ancho de la solera o plan (b). En función del caudal obtenido, se determinó un plan de 0.30 m (Anexo 6) (Villón 2004)

Área hidráulica del dren (A). Se determinó mediante la ecuación de continuidad, ya que se conoce el caudal y la velocidad media de agua en los drenes (Villón 2004):

$$A = Q/V \quad [5]$$

Donde:

A= Área hidráulica del dren (m²)

V= velocidad media del agua del dren (m/s)

Q= caudal (m³/s)

Tirante (y). Es la profundidad del agua en el dren y se determinó por la ecuación (Villón 2004) por tanteo:

$$((b + Z y) y)^5 / (b+2 (1+Z^2)^{1/2} y)^2 = (Q \times n/S1/2)^3 \quad [6]$$

Donde:

b = base (m)

Z = talud

y = tirante (m)

Q= Caudal de evacuación (m³/s)

n = coeficiente de rugosidad

S = pendiente

Borde libre (B.L.). En relación al caudal se tiene que a menos de 0.5 m³/s se tendrá un borde libre de 0.2 m (Villón 2004). Para canales en tierra se deja un borde libre o resguardo igual a un tercio del tirante, es decir:

$$B.L. = y/3 \quad [7]$$

Donde:

B.L.= Bordo libre (m)

y= tirante (m)

Profundidad total (H). La profundidad total del dren se encuentra una vez conocido el tirando de agua y el borde libre mediante la siguiente ecuación (Villón 2004):

$$H = y + B.L. \quad [8]$$

Donde:

H = profundidad total del dren (m)

y = tirante del dren (m)

B.L. = Bordo libre (m)

Ancho de la boca (B.D.). 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 ecuación (Villón 2004):

$$B.D. = b + 2(1 + Z^2 \times H)^{1/2} \quad [9]$$

Donde:

b = base (m)

Z = talud (m)

H = profundidad total del dren (m)

Con base en estos parámetros, el estudio se realizó hasta diseñar drenes de evacuación (canales secundario y primario) con un diseño trapezoidal (Figura 2).

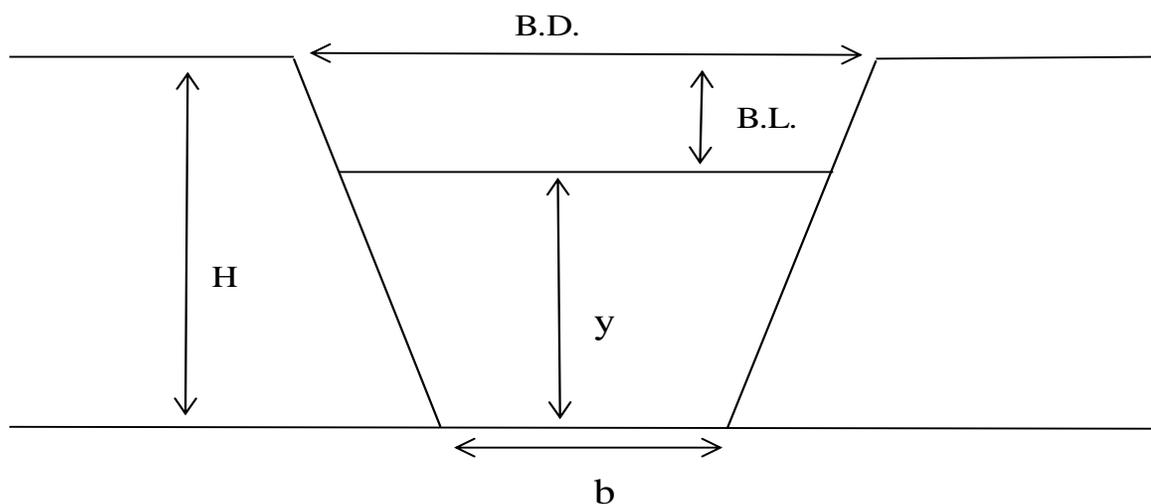


Figura 2. Diagrama de los drenes para Zorrales, Zamorano, Honduras.

Fuente: A. Smith 2012.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estudio de suelo. El área de estudio presentó variaciones de suelos (Figura 3), que corresponde a dos subclases por familia textural cuadro. La textura del suelo es franco arcillosa hasta los 60 cm en toda el área, pero en la esquina Noroeste se encuentran fragmentos de roca debajo de los 60 cm. El resto del área tiene arcilla a partir de los 60 cm en promedio (Cuadro 2).

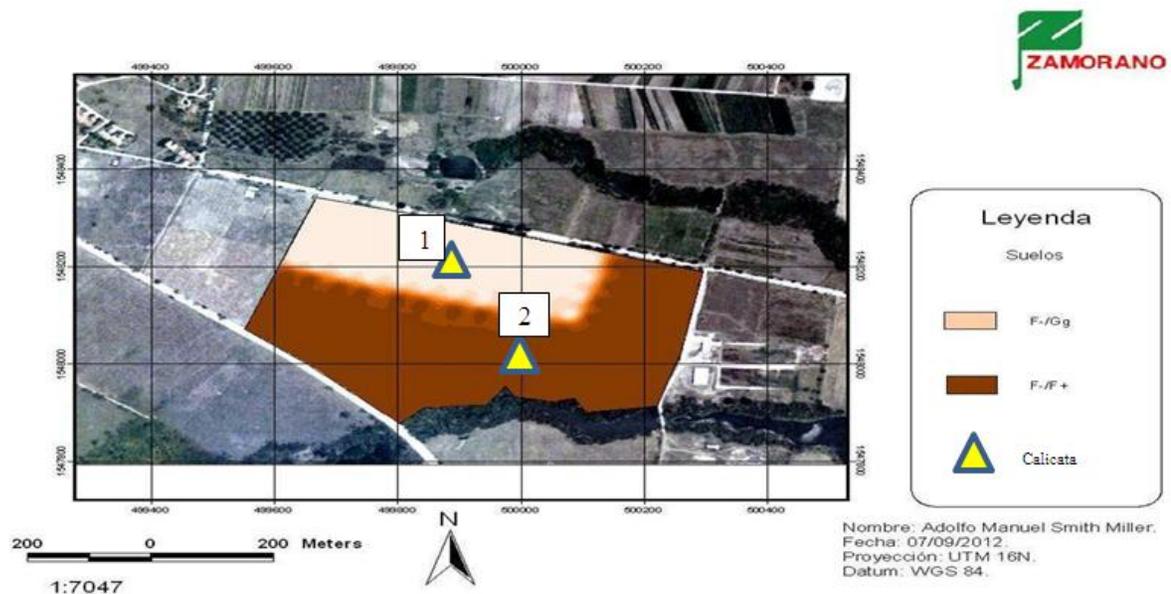


Figura 3. Mapa de distribución de suelo por clase textural y ubicación de calicatas en Zorrales, Zamorano, Honduras.

Fuente: A. Smith 2012.

Cuadro 2. Clasificación por clase textural de los suelos en Zorrales, Zamorano, Honduras. 2012.

| Tipo de suelo | Clases y estratigrafía | Área (ha) | Área (%) |
|---------------------------------|---|-----------|----------|
| F ⁻ /Gg ^a | (M/F ⁻)/F ⁻ ; (F ⁻ /g)/F ⁺ ; (F ⁺ /g)/G | 9.59 | 35 |
| F/F ⁺ | (M/F ⁻)/(g/F ⁺); (F ⁻ /g)/F ⁺ | 17.81 | 65 |

^aF⁺ = 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).

Descripción física de suelos. Los análisis físicos de suelo muestran que en el primer perfil descrito, la profundidad no es una limitación para el desarrollo de las raíces y predominan suelos con texturas franco arcillo arenosos. Los agregados del suelo presentan estructura con bloques subangulares y migajosa, consistencia en húmedo friable y resistencia a la penetración entre 1.25 y 1.5 kg/cm², con abundantes poros tubulares. La distribución de la raíces es variable y en general la mayor cantidad de raíces esta en los primeros horizontes y disminuye con la profundidad. En el segundo perfil descrito la profundidad es una limitación para el desarrollo de la raíces a partir de los 30 cm y en el cual predomina suelos con textura arcillosos. Los agregados presentan estructura laminar y bloques angulares, consistencia en húmedo firme y muy firme y resistencia a la penetración entre 2 y 2.5 kg/cm², con presencia de poros vesiculares. La raíces son finas y muy finas, frecuente, pocos y disminuye con la profundidad. Estas características denotan problemas de mal drenaje interno del suelo, lo que ocasiona un lento movimiento del agua y genera condiciones de falta de oxígeno, como lo manifiestan los colores grises del suelo (Cuadro 3).

Cuadro 3. Propiedades físicas de los suelos descritos en Zorrales, Zamorano, Honduras, 2012.

| Perfil | Horizonte | Profundidad (cm) | Textura ¹ | Color | Estructura ² | | | Consistencia en húmedo ³ | Resistencia a la penetración (kg/cm ²) | Poros ⁴ | | | Raíces ⁵ | | Límite ⁶ | |
|--------|----------------|------------------|----------------------|----------------|-------------------------|-------|-------|-------------------------------------|--|--------------------|-------|----------|---------------------|----------|---------------------|---------|
| | | | | | tipo | grado | clase | | | tamaño | forma | cantidad | tamaño | cantidad | topografía | nitidez |
| 1 | Ap | 0-40 | FArA | 7.5YR 2.5/2 | bsa | m | m | f | 1.50 | t | t | m | tg | m | p | d |
| | Bt | 40-80 | FArA | 7.5YR 4/6 | mi | d | f | f | 1.25 | t | t | f | m | f | p | g |
| | C | 80-120x | ArA | 10YR 5/4 | mi | d | m | f | 1.50 | f | t | f | f | f | p | d |
| 2 | Ap | 0-30 | FAr | 7.5YR 3/1 | la | m | m | fi | 2.00 | m | v | p | mf | f | p | d |
| | C ₁ | 30-55 | Ar | 10YR 5/2 | la | f | g | mfi | 2.50 | f | v | f | m | f | p | g |
| | C ₂ | 55-75 | Ar | 7.5YR 4/1 | ba | m | m | mfi | 2.00 | mf | v | p | f | p | p | d |
| | C ₃ | 75-105x | Ar | 10YR 5/6 | ba | m | m | mfi | 2.50 | mf | v | p | f | p | i | a |

¹**Textura:** FArA: franco arcillo arenoso, ArA: arcillo arenoso, Ar: arcilloso. ²**Estructura:** Tipo: bsa: bloques subangulares, mi: migajosa, la: laminar, ba: bloques angulares. Grado: m: moderado, d: débil, f: fuerte. Clase: m: medianos, g: gruesos, f: finos. ³**Consistencia:** f: friable, fi: firme, mfi: muy firme. ⁴**Poros:** Tamaño: t: todos los tamaños, f: finos, m: medianos, mf: muy finos. Forma: t: tubular, v: vesicular. Cantidad: m: muchos, f: frecuentes, p: pocos. ⁵**Raíces:** Tamaño: tg: todos los grosores, m: medianas, f: finas, mf: muy finas. Cantidad: m: muchos, f: frecuentes, p: pocos. ⁶**Límite:** Topografía: p: plano, i: irregular. Nitidez: d: difuso, g: gradual, a: abrupto.

Nivel freático. No se detectó nivel freático y los freatómetros que presentaron lectura de nivel de agua desde los 55 cm de profundidad a mas profundo (Cuadro 4), están influenciados por la presencia de textura muy fina (>35% de arcilla), lo que generó un falso nivel freático proveniente de agua que se acumula en la época lluviosa y presencia de moteos en los horizontes inferiores (Figura 4).

Cuadro 4. Profundidad del nivel de agua de los freatómetros en Zorralles, Zamorano, Honduras, 2012.

| Clase textural | Área (%) | Freatómetro | Profundidad promedio del nivel freático (cm) | Conductividad hidráulica (cm/h) | Conductividad hidráulica promedio (cm/h) |
|------------------|----------|-------------|--|---------------------------------|--|
| F/Gg | 35 | 1 | > 100 | 4.55 | 3.36 |
| | | 3 | > 100 | 3.04 | |
| | | 5 | > 100 | 2.48 | |
| F/F ⁺ | 65 | 2 | 80 | 0.53 | 0.4 |
| | | 4 | 60 | 0.45 | |
| | | 6 | 60 | 0.39 | |
| | | 7 | 55 | 0.34 | |
| | | 8 | 55 | 0.29 | |

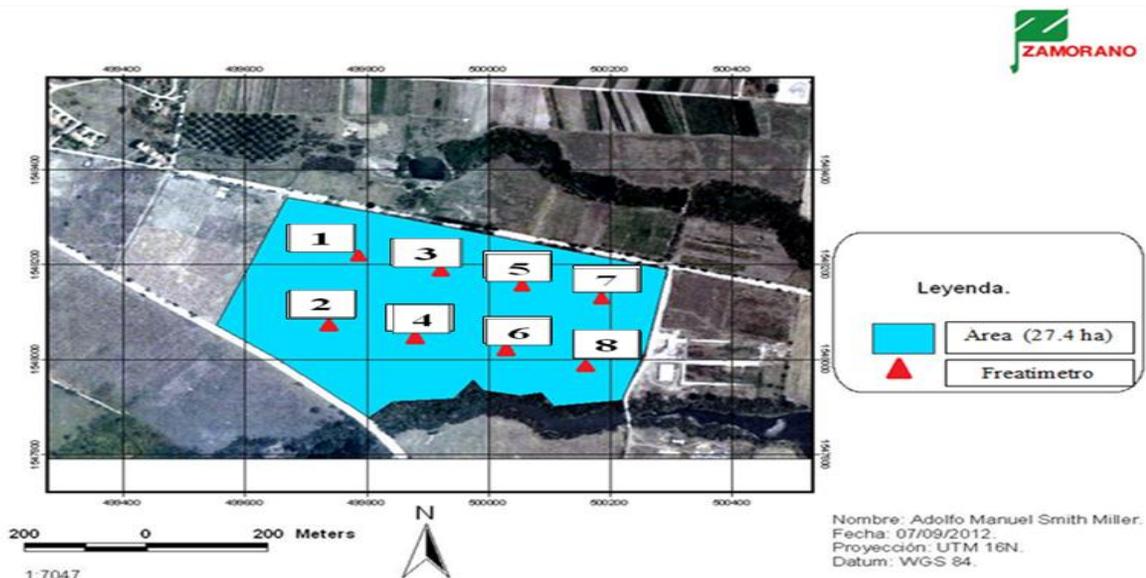


Figura 4. Mapa de red de freatómetros en Zorralles, Zamorano, Honduras.
 Fuente: A. Smith 2012.

Conductividad hidráulica. El 35% del área de estudio correspondiente a los suelos de clase textural F/Gg, presentó conductividad hidráulica desde 2.48 cm/h a 4.55 cm/h, la cual se considera una rapidez de movimiento de agua moderada y el 65% del área de estudio que corresponde a los suelos de clase textural F-/F+, presentó conductividad hidráulica que van desde 0.29 cm/h hasta 0.53 cm/h (Cuadro 4), la cual se considera una rapidez de movimiento de agua lenta (Anexo 1), ya que esta influenciada por textura finas y muy finas (arcilla pesadas). El valor promedio de conductividad hidráulica utilizado para realizar el diseño fue de 0.4 cm/h (Cuadro 4).

Estudio topográfico. Mediante interpolación de curvas de nivel se determinó que la inclinación del terreno esta en dirección Noroeste a Este con elevación de 770 msnm, la forma cóncava de la curva indica la trayectoria del flujo de agua y la ubicación en el que debe ir el drenaje (Figura 5). El terreno muestra una topografía plana con pendiente promedio de 2% (Figura 6). Este método no permite identificar con precisión la ubicación real de las curvas a nivel y solo muestra una tendencia por lo cual resulta difícil establecer un diseño de drenaje efectivo.



Figura 5. Mapa de interpolación de curvas en Zorrales, Zamorano, Honduras
 Fuente: A. Smith 2012.

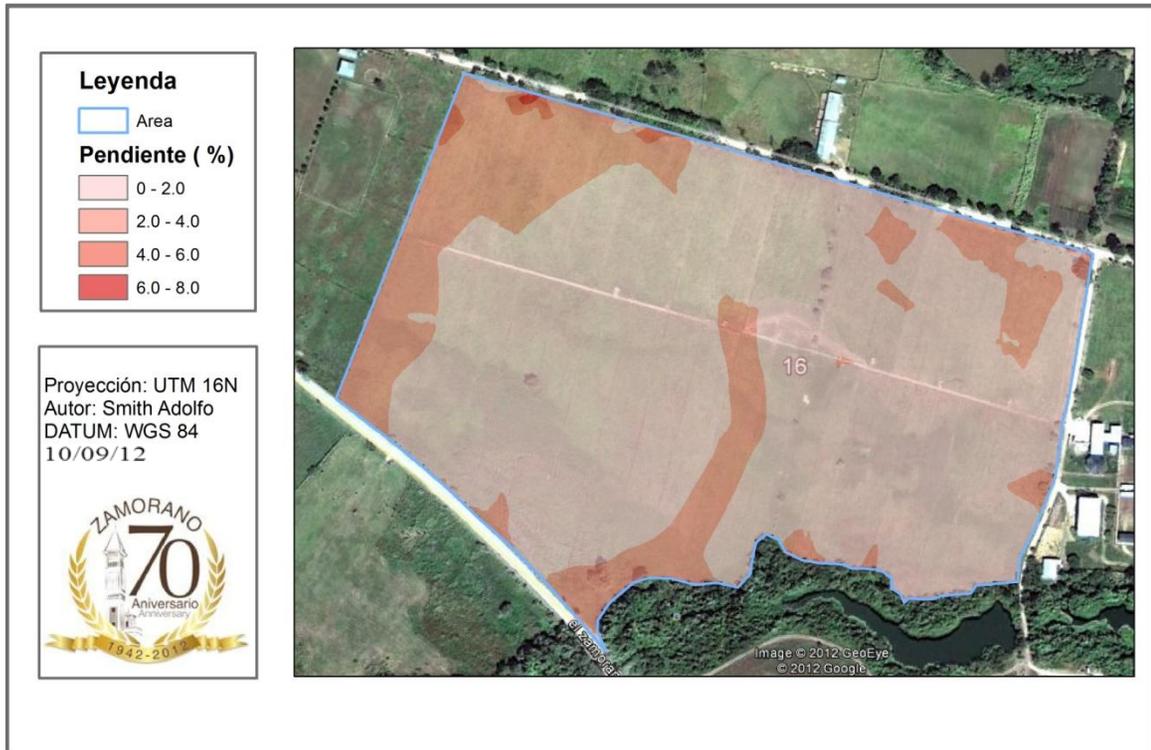


Figura 6. Mapa de distribución de pendiente en Zorrales, Zamorano, Honduras.
 Fuente: A. Smith 2012.

Estudio climatológico.

Tormenta de diseño. La tormenta de diseño que se utilizó para este estudio fue de 104.29 mm/día, con una probabilidad de ocurrencia de 20% para un periodo de retorno de 5 años (Cuadro 1).

Evaporación. Se determinó una tasa de evaporación promedio de 3.87 mm/día a través de registros de 1992 – 2011 para los meses de noviembre y diciembre obtenidos de la estación climatológica Zamorano (Anexo 2).

Diseño de los drenes de evacuación. En las observaciones y análisis realizados en el área de estudio se observaron sectores afectados por encharcamiento, debido a que el terreno presenta topografía plana, suelo arcilloso, compactación superficial del suelo y conductividad hidráulica lenta. De acuerdo a los resultados obtenidos de evaporación promedio de 3.87 mm/día, conductividad hidráulica de 0.4 cm/hora, presencia de textura fina, pendiente promedio de 2%, escorrentía de 30.92 mm/día, tomando en cuenta una tormenta de diseño de 104.29 mm/h, un coeficiente de drenaje de 9,60 L/s/ha y considerando que no se encontró influencia de un nivel freático, se recomendó realizar un sistema de drenaje superficial para la evacuación del exceso de agua.

El sistema de evacuación superficial de agua debe contar con dos drenes secundarios Q1 y Q2, que miden 435 y 160 metros respectivamente, para evacuar la zonas afectadas por problemas de encharcamiento, conectado a un dren colector principal Q3, que mide 100 metros, el cual desemboca a dren natural para asegurar el movimiento del agua (Figura 7). La ubicación de los drenes se determinó por la posición de las curvas a nivel, las zonas de encharcamiento y la velocidad de movimiento de agua por conductividad hidráulica. Con base en parámetros hidráulicos determinados (Cuadro 5), se dimensionaron los drenes mediante un diseño trapezoidal (Figura 8), con capacidad de remover un caudal de 9979.2 m³/día en 17.81 ha, que es el área afectada.

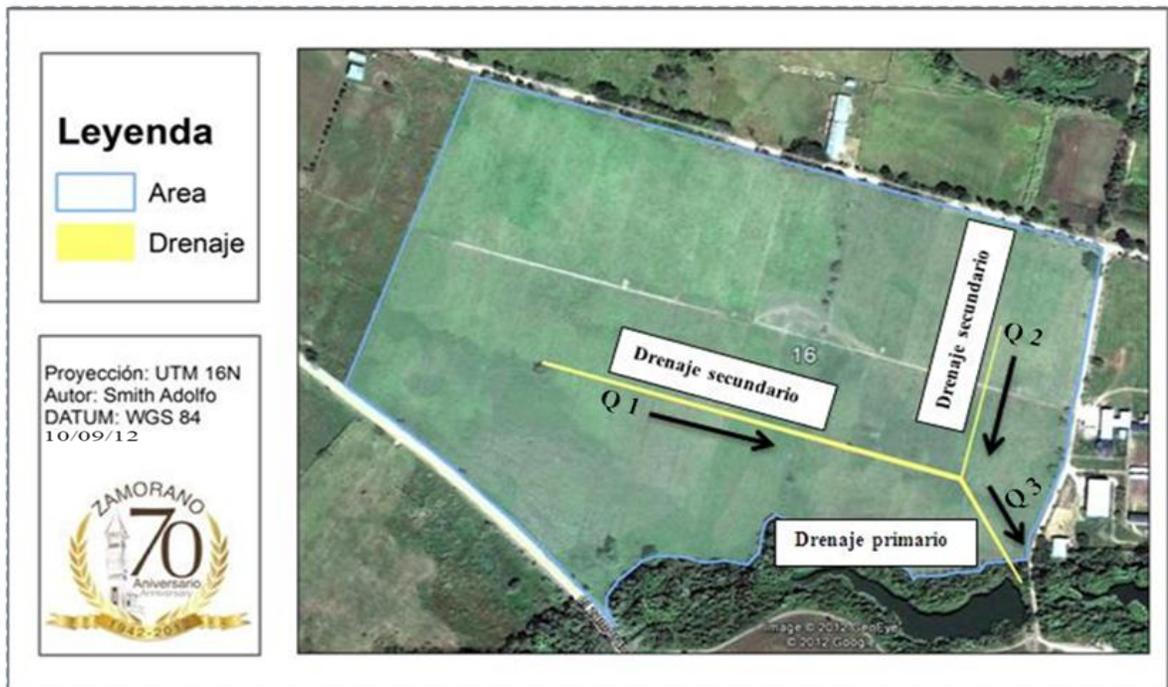


Figura 7. Sistema de evacuación de agua propuesto para Zorrales, Zamorano, Honduras.
 Fuente: A. Smith 2012.

Cuadro 5. Parámetro de diseño y dimensión de los drenes para Zorralles, Zamorano, Honduras, 2012.

| Dren | Q ¹ | V ² | S ³ | n ⁴ | Z ⁵ | b ⁶ | A ⁷ | y ⁸ | B.L. ⁹ | H ^α | B.D. ^ε | Área del dren | Largo del dren | Volumen de tierra removida | Área ocupada por el dren |
|--------------|-------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------------------|----------------|-------------------|----------------|----------------|----------------------------|--------------------------|
| | m ³ /s | m/s | % | | m | m | m ² | m | m | m | m | m ² | m | m ³ | m ² |
| Q1 | 0.0878 | 0.9 | 0.2 | 0.067 | 0.5 | 0.3 | 0.0975 | 0.7 | 0.2 | 0.9 | 1.5 | 0.81 | 435 | 352.35 | 625.5 |
| Q2 | 0.0277 | 0.9 | 0.2 | 0.067 | 0.5 | 0.3 | 0.0307 | 0.7 | 0.2 | 0.9 | 1.5 | 0.81 | 160 | 129.6 | 240 |
| Q3 (Q1 + Q2) | 0.1155 | 0.9 | 0.2 | 0.067 | 0.5 | 0.5 | 0.1282 | 0.9 | 0.3 | 1.20 | 2 | 1.38 | 100 | 138 | 200 |
| Total | | | | | | | | | | | | | | 619.95 | 1065.5 |

¹Q= Caudal, ²V= velocidad del agua, ³S= Pendiente, ⁴n= Coeficiente de rugosidad, ⁵Z= talud, ⁶b= base, ⁷A= área hidráulica, ⁸y= tirante, ⁹B.L. = Bordo libre, ^αH= profundidad, ^εB.D.= Ancho del dren o boca.

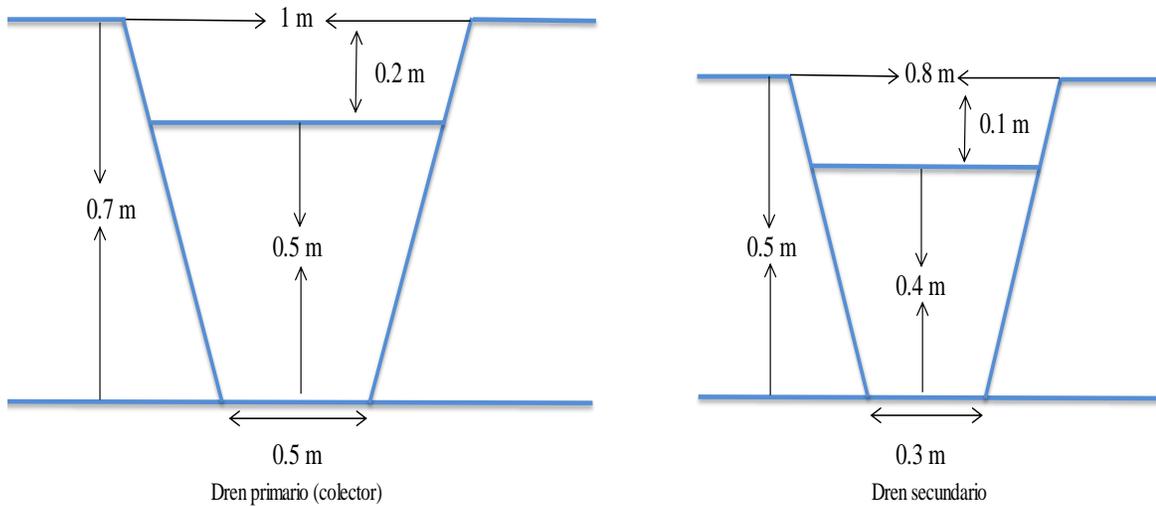


Figura 8. Diagrama de las dimensiones de los drenes para Zorrales, Zamorano, Honduras.
Fuente: A. Smith 2012.

Mejoramiento del drenaje interno del suelo. Para facilitar el movimiento de agua en el suelo arcilloso, se recomienda romper los horizontes compactados mediante subsoleo profundo en dirección al dren colector. Esta práctica no solo mejorará la condición del suelo sino que complementa el sistema de drenaje, mejorando la producción de la pastura. (Guerra Serrano y Mendieta Servellón 2011).

4. CONCLUSIONES

- En Zorrales el problema de mal drenaje se manifiesta durante la época de lluvia por lo que se recomienda un sistema de drenaje superficial para evacuar los excesos de agua.
- El 65% del área de estudio se caracteriza por tener suelos de textura arcillosa pesada a partir de los 30 cm de profundidad que actúa como capa impermeable limitando el drenaje interno.
- No existe un verdadero nivel freático, aunque si se acumula agua a profundidad en la época de lluvia.
- El área de estudio presenta problemas de anegamiento en zonas de baja conductividad hidráulica.

5. RECOMENDACIONES

- Mejorar el drenaje interno del suelo usando subsolador todo en dirección transversal a la pendiente y desembocando en el canal de evacuación diseñado.
- Implementar el sistema de evacuación de agua diseñado y acondicionarlo un drenaje tipo francés.
- Hacer estudio altimétrico con él determinar la ubicación de los drenes terciarios.
- Hacer análisis económico de la implementación del drenaje y considerar diseño de drenes parabólico.

6. LITERATURA CITADA

Arévalo, G., Gauggel, C. 2011. Manual de prácticas. Curso de Manejo de Suelos y Nutrición Vegetal tercer año. Séptima edición. Zamorano, Honduras. 77 p.

Ashkar, F., Bobée, B., Perrault, L., Rasmussen, P. 1994. Distribuciones de Probabilidad en Hidrología. Kluwer Academic Publisher. 190 p.

De Paco, J.L. 1969. Drenaje Agrícola. Teoría y bases de cálculo. Ministerio de Agricultura, serie Monografía N° 20. Madrid, España. 213 p.

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

Gavande, S. 1979. Física de suelos. Principios y aplicaciones. Editorial Limusa, S.A. México. 351 p.

Guerra Serrano, A.J., Mendieta Servellón, J.A. 2011. Subsoleo en suelos arcillosos masivos y fertilización con magnesio en el pasto Tobiatá (*Panicum maximun*). Proyecto especial de graduación del programa de Ingeniería Agronómica, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. 27 p.

IRLI (International Institute for Land Reclamation and Improvement). 1977. Principios y Aplicaciones Del Drenaje. Materias Preliminares. Wageningen, Holanda. V1, 257 p.

Leitón S, J.S. 1985. Riego y Drenaje. Editorial Universidad Estatal a Distancia. San José, Costa Rica. 179 p.

Luthin, J. 1967. Drenaje de Tierras Agrícolas. Teoría y Aplicaciones. Editorial Limusa-Wiley, S.A. México, D.F. 684 p.

Márquez, F. 2005. El Topógrafo Descalzo. Editorial Pax México. 455 p.

Mendoza Aguilar, E.J. 2008. Diseño y cálculo de un sistema de drenaje para la finca de San Nicolás. Proyecto especial de graduación del programa de Ingeniería Agronómica, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. 37 p.

Sánchez, P. 1981. Suelos del Trópico. Características y Manejo. IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). Serie de Libros y Materiales Educativos N° 48. San José, Costa Rica. 634 p.

Vélez, M., Berger, N. 2011. Producción de Forrajes en el Trópico. Zamorano Academic Press, Zamorano, Honduras. 151 p.

Villalobos, M. 2005. Diseño de drenaje superficial. Editorial Tecnológica de Costa Rica. 94 p.

Villón, M. 2004. Drenaje. Insituto Tecnoógico de Costa Rica. Escuela de Ingeniería Agrícola. Editorial Centro de Información Tecnológica (CIT). Cartago, Costa Rica. 544 p.

7. ANEXOS

| Mes | Precipitación (mm) |
|------------|--------------------|
| Enero | 8.03 |
| Febrero | 7.26 |
| Marzo | 9.27 |
| Abril | 52.94 |
| Mayo | 146.02 |
| Junio | 185.88 |
| Julio | 142.65 |
| Agosto | 150.03 |
| Septiembre | 182.19 |
| Octubre | 142.85 |
| Noviembre | 35.95 |
| Diciembre | 13.09 |
| Promedio | 1120 |

Anexo 1. Precipitación promedio de 1992 a 2011 en Zamorano, Honduras
Fuente: Álvarez².

² Álvarez, F. 2012. Profesor asociado en Riego y Maquinaria Agrícola. EAP Zamorano, Honduras. Comunicación personal.

| Año | Noviembre mm/día | Diciembre mm/día |
|-----------------------|---------------------|---------------------|
| 1992 | 1.67 | 1.42 |
| 1993 | 2.13 | 3.43 |
| 1994 | 2.64 | 3.76 |
| 1995 | 2.08 | 2.97 |
| 1996 | 2.7 | 3.15 |
| 1997 | 2.25 | 3.74 |
| 1998 | 3.16 | 3.14 |
| 1999 | 3.25 | 3.6 |
| 2000 | 3.54 | 3.98 |
| 2001 | 4.07 | 4.47 |
| 2002 | 3.83 | 3.87 |
| 2003 | 3.54 | 3.9 |
| 2004 | 3.52 | 4.25 |
| 2005 | 5.24 | 3.95 |
| 2006 | 6.35 | 5.28 |
| 2007 | 4.7 | 4.86 |
| 2008 | 4.85 | 4.75 |
| 2009 | 6.2 | 6.22 |
| 2010 | 4.42 | 4.39 |
| 2011 | 5.31 | 4.3 |
| Promedio= 3.87 mm/día | | |

Anexo 2. Tasa de evaporación promedio de los meses de Noviembre y Diciembre en Zamorano, Honduras.

Fuente: Álvarez³

| Características de los suelos | Velocidades medias del agua (m/s) |
|---|--------------------------------------|
| Canales en tierra franca | 0.6 |
| Canales en tierra arcillosa | 0.9 |
| Canales revestidos con piedra y mezcla simple | 1 |
| Canales con mampostería de piedra y concreto | 2 |
| Canales revestidos con concreto | 3 |
| Canales en roca: | |
| Pizarra | 1.25 |
| Areniscas consolidada | 1.50 |
| Rocas duras, granito, etc. | 3-5 |

Anexo 3. Velocidades medias del agua en el dren (V), según características del suelo.

Fuente: Villón 2004.

³ Álvarez, F. 2012. Profesor asociado en Riego y Maquinaria Agrícola. EAP Zamorano, Honduras. Comunicación personal.

| Condición del dren | Valor (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 |

Anexo 4. Valores de coeficiente de rugosidad (n) de acuerdo a las condiciones del dren.
Fuente: Villón 2004.

| Suelo | Talud Z : (horizontal : vertical) |
|----------------------|-----------------------------------|
| Arcillas compactadas | 0.50 - 1.00 |
| Limo-arcilloso | 1.00 - 1.00 |
| Limo-arenoso | 1.50 - 1.00 |
| Arenas sueltas | 2.00 - 1.00 |

Anexo 5. Valor del talud (Z) recomendado según el suelo.
Fuente: Villón 2004.

| Caudal Q (m ³ /s) | Solera b (m) |
|------------------------------|--------------|
| < 0.100 | 0.30 |
| 0.100 - 0.200 | 0.50 |
| 0.200 - 0.400 | 0.75 |
| > 0.400 | 1.00 |

Anexo 6. Ancho de la solera (b) en función del caudal.
Fuente: Villón 2004.