

**Diseño y cálculo de un sistema de drenaje  
para la finca San Nicolás, El Zamorano,  
Honduras**

**Enrique Javier Mendoza Aguilar**

**Zamorano  
Diciembre, 2008**

ZAMORANO  
CARRERA DE CIENCIA Y PRODUCCIÓN AGROPECUARIA

# **Diseño y cálculo de un sistema de drenaje para la finca de San Nicolás, El Zamorano, Honduras**

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

Presentado por:

**Enrique Javier Mendoza Aguilar**

**Zamorano, Honduras**

Diciembre, 2008

# **Diseño y cálculo de un sistema de drenaje para la finca de San Nicolás Zamorano, Honduras**

Presentado por:

Enrique Javier Mendoza Aguilar

Aprobada:

---

Francisco Álvarez, M.A.E.  
Asesor Principal

---

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

---

Gloria Arévalo de Gauggel, M.Sc.  
Asesor

---

Raúl Espinal, Ph.D.  
Decano académico

---

Nils Berger, Ph.D.  
Asesor

---

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

---

Abelino Pitty, Ph.D.  
Coordinador de Fitotecnia

## RESUMEN

Mendoza, Enrique. 2008. Diseño y cálculo de un sistema de drenaje en la finca San Nicolás, El Zamorano, Honduras. Proyecto especial para optar al título de Ingeniero Agrónomo, Zamorano, Honduras, 2008. 37 p.

Este estudio se realizó en la finca de San Nicolás, El Zamorano, Honduras, con un área de 51 ha divididas en cuatro lotes de 11.8 ha, 11.1 ha, 13.9 ha y 14.3 ha. El estudio se inició con la identificación visual de las zonas afectadas por problemas de drenaje. Luego se realizaron barrenaciones, espaciadas a  $75\text{ m} \times 75\text{ m}$  a una profundidad de 1.20 m con las que se hizo el mapa de clasificación textural de suelo. De acuerdo a esta clasificación se determinó la ubicación de las pruebas de infiltración. Posteriormente se ubicó una red de freatómetros espaciados a  $150\text{ m} \times 150\text{ m}$ , a una profundidad de 1.20 m con lo que se comprobó que no existe influencia del nivel freático; estos mismos freatómetros se utilizaron para determinar la conductividad hidráulica. Posteriormente se abrieron calicatas para evaluar la existencia de moteos y la profundidad efectiva del suelo. El área fue delimitada con GPS y con la estación total se determinó la topografía y altimetría del terreno a través del programa ArcGIS. El estudio climatológico consistió en la evaluación de la precipitación máxima, periodo de recurrencia y balance hídrico de 32 años registrados. Con la conductividad hidráulica, zonas de encharcamientos y el mapa de suelos se determinó la ubicación de los drenes. Se concluyó que debe implementarse un sistema de drenaje superficial ya que no existe influencia de nivel freático. El sistema propuesto contará con un dren principal o colector con 0.36 - 0.5 m de profundidad y siete drenes secundarios cada uno con una profundidad de 0.33 - 0.36 m. El dren principal debe tener un ancho de boca entre 1.58 m - 1.73 m y sus bases entre 0.3 m - 0.75 m; los drenes secundarios deben tener un ancho de boca entre 1.57 - 1.58 m y su base de 0.30 m; la longitud total del dren principal será de 599 m, en cuanto las de los drenes secundarios serán de Q1 430 m, Q2 545 m, Q3 424 m, Q4 498, Q5 404 m, Q6 352 m y Q7 352 m de longitud. Para la implementación del sistema propuesto se removerán  $2,044.88\text{ m}^3$  de tierra y el área ocupada por los drenes será de  $5,968\text{ m}^2$ , lo que ocupa 1.17% del área total drenada. Los costos de implementación del sistema son de L. 132,916.

**Palabras clave:** Conductividad hidráulica, freatómetros, nivel freático y suelos.

## ABSTRACT

Mendoza, Enrique. 2008. Design of a drainage system in the property of San Nicolas, El Zamorano, Honduras. Special project to obtain the title of Agronomist Engineer, El Zamorano, Honduras, 2008. 37 p.

This study was realized in the property of San Nicolas, El Zamorano, Honduras, in an area of 51 hectares divided into four lots which are: A, B, C and D of 11.8 hectares, 11,1 hectares, 13,9 hectares and 14.3 hectares respectively. The study begun tugherhole observing and identifying the zones affected by drainage problems. Tests where realized,  $75 \times 75$  m and 1.20 m depth. These where used to determine the textural classification map. According to this classification was determined the location of the infiltration tests to evaluated the basic infiltration of the survey area. Later a network of phreatimeters spaced at distances of 150 x150 m in between them with a depth of 1.20 m was placed. It was verified that a phreatic level influence does not exist. These same phreatimeters were used to determine the hydraulic conductivity. Later, test pits were made to evaluate the existence of darks spots and effective depth of the ground. The area was delimited using a GPS, a total station to describe the topography and the altimetry compiled using the ArcGIS program. The climatologic study consisted on the evaluation of maximum precipitation, period of recurrence and hydric balance of 32 years of register. The location of the drains where determined using the hydraulic conductivity, pool zones and the ground map information. In conclusion a superficial drainage system must be implemented because of the lock of a phreatic level influence does. The proposed system would count with seven secondary drains, each with a depth of 0.31 m and the main drain or collector with a depth of 0.4 m, 0.5 m and 0.6 m. The main drain must have a width at the beginning of 2.39 m, 2.59 m, 2.62 m and 2.89 m and their bases of 0.3 m, 0.5 m and 0.75 m each drain, the secondary drains must have a width at the beginning of 2.37 m and their bases of 0.30 m. The overall length of the main drain must be of 599 m, the secondary drains are: **Q1** 430 m, **Q2** 545 m, **Q3** 424 m, **Q4** 498 m, and the main drain is **Q5** 404 m, **Q6** 352 m and **Q7** 352 m of length. For the implementation of the proposed system, 2,044.88 m<sup>3</sup> of ground will be removed and the area where the drains will be situated is of 5,968 m<sup>2</sup>, which means 1.17% of the total area will be used by the drains. The total costs of implementation of this system are of L. 132,916 (USD 6,995).

Key words: Hydraulic conductivity, phreatimeters, phreatic level and grounds.

## CONTENIDO

|   |           |
|---|-----------|
| Portadilla.....                           | i         |
| Página de firmas .....                    | ii        |
| Resumen.....                              | iii       |
| Abstract.....                             | iv        |
| Contenido .....                           | v         |
| Índice de figuras, cuadros y anexos ..... | vi        |
| <b>INTRODUCCIÓN.....</b>                  | <b>1</b>  |
| <b>MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>          | <b>3</b>  |
| <b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>        | <b>13</b> |
| <b>CONCLUSIONES.....</b>                  | <b>29</b> |
| <b>RECOMENDACIONES.....</b>               | <b>29</b> |
| <b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>                  | <b>30</b> |
| <b>ANEXOS.....</b>                        | <b>31</b> |

## ÍNDICE DE FIGURAS, CUADROS Y ANEXOS

| Cuadro  | Página |
|---|--------|
| 1. Períodos de retorno y su probabilidad de ocurrencia para las precipitaciones de El Zamorano, Honduras, 2008.....                   | 4      |
| 2. Clasificación textural y por aptitud de los suelos en San Nicolás, El Zamorano, Honduras 2008.....                                 | 16     |
| 3. Clasificación edáfica y su conductividad hidráulica en San Nicolás, El Zamorano, Honduras, 2008.....                               | 20     |
| 4. Caudal máximo de cada dren secundario en la finca San Nicolás, El Zamorano, 2008.....  | 24     |
| 5. Caudal máximo en cada intersección de los drenes en la finca San Nicolás, El Zamorano, Honduras, 2008.....                         | 24     |
| 6. Dimensiones de los drenes secundarios de la finca San Nicolás, El Zamorano, Honduras, 2008.....                                    | 25     |
| 7. Dimensiones del dren primario o colector de la finca San Nicolás, El Zamorano, Honduras, 2008.....                                 | 26     |
| 8. Costos de implementación de los drenes secundarios de la finca San Nicolás, El Zamorano, Honduras.....                             | 27     |
| 9. Costos de implementación del dren principal o colector en la finca San Nicolás, El Zamorano, Honduras, 2008.....                   | 27     |
| 10. Costos de implementación del sistema de drenaje superficial propuesto para la finca San Nicolás, El Zamorano, Honduras, 2008..... | 28     |
| <br>  |        |
| <b>Figura</b>   |        |
| 1. Mapa red de barrenaciones en la finca San Nicolás, El Zamorano, Honduras, 2008.....  | 5      |
| 2. Mapa de red de freáticos en la finca San Nicolás, El Zamorano, Honduras, 2008.....   | 8      |
| 3. Diagrama de los drenes de la finca San Nicolás, El Zamorano, Honduras.....   | 12     |
| 4. Áreas con problemas de encharcamiento en la finca de San Nicolás, El Zamorano, Honduras, 2008.....                                 | 14     |
| 5. Cultivo de maíz afectado por mal drenaje en la finca San Nicolás, El Zamorano, Honduras, 2008.....                                 | 15     |
| 6. Balance Hídrico en la finca San Nicolás, El Zamorano Honduras, 2008  | 15     |
| 7. Mapa de suelos de clases por aptitud de la finca San Nicolás, El Zamorano, Honduras, 2008.....                                     | 17     |
| 8. Mapa de conductividad hidráulica de la finca San Nicolás, El   |        |

|     |   |    |
|-----|---|----|
|     | Zamorano, Honduras, 2008.....   | 19 |
| 9.  | Mapa de curvas a nivel en San Nicolás, El Zamorano, Honduras, 2008..... | 21 |
| 10. | Sistema de drenaje superficial propuesto para la finca San Nicolás..... | 23 |

#### Anexo

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 1.  | Finca San Nicolás, El Zamorano, Honduras, 2008.....  | 31 |
| 2.  | Evaporación de los meses de noviembre y diciembre de 1989-2007, El Zamorano, Honduras, 2008.....   | 32 |
| 3.  | Infiltración básica en La finca San Nicolás, El Zamorano, Honduras, 2008.....  | 32 |
| 4.  | Valores de coeficiente de rugosidad (n) de acuerdo con las condiciones del dren.....   | 33 |
| 5.  | Determinación de la tasa de evaporación de los meses de noviembre y diciembre a través de un promedio en la finca San Nicolás, Zamorano, Honduras, 2008..... | 34 |
| 6.  | Determinación de la tasa de infiltración básica.....   | 34 |
| 7.  | Lectura de los freáticos del nivel de agua en el suelo en la finca San Nicolás, El Zamorano, Honduras, 2008.....   | 35 |
| 8.  | Resultados de la conductividad hidráulica en la finca de San Nicolás, El Zamorano, Honduras. 2008.....   | 36 |
| 9.  | Clasificación de la conductividad hidráulica según su rapidez de movimiento.....   | 36 |
| 10. | Georeferencia de las coordenadas de los drenes de la finca San Nicolás, El Zamorano, Honduras, 2008.....   | 37 |

## INTRODUCCIÓN

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

La necesidad del drenaje superficial se justifica 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, durante un tiempo mayor al que los cultivos puedan soportar sin manifestar efectos serios sobre los rendimientos y sobrevivencia (Villon 2004)

Los encharcamientos en la finca San Nicolás limitan el desarrollo fisiológico del cultivo y la producción, por lo cual es conveniente establecer un sistema de drenaje. El exceso de agua llena los poros del suelo, reduciendo así la respiración y captación de agua y nutrientes por parte de las raíces. La reducción de transporte de aire a las raíces y el exceso de agua causa la marchitez aparente. En sentido contrario las plantas bien aireadas pueden tomar de dos a cuatro veces más agua que aquellas con deficiencias de aire (Hargreaves y Merkle 2000).

El objetivo del drenaje agrícola es evitar que se presente una condición de exceso de humedad en la zona radicular que, directa o indirectamente, tenga un efecto perjudicial sobre el crecimiento de los cultivos y, además, lograrlo sobre una base económica positiva (Kessler 1974).

Los siguientes estudios básicos ayudan a determinar el problema de drenaje y definir cual sistema de drenaje será implementado.

- Estudio climatológico: establece la precipitación extrema ocurrida, su frecuencia y su periodo de retorno, así como las diversas condiciones climáticas que presenta la zona determinando un balance hídrico. Este se establece para un lugar y un período de tiempo dado, por comparaciones entre los aportes y las pérdidas de agua en ese lugar y para ese período (Durand-Dastés 2005).
- Estudio edáfico: en la zona en estudio, se determinan las características físicas del suelo; se evalúa la existencia de un nivel freático y la conductividad hidráulica, la cual mide la capacidad del suelo para desalojar el agua existente en su seno; sus unidades están en función de la velocidad y un tiempo determinado (m/día o

cm/hora). Proporciona un criterio necesario para el diseño de los sistemas de drenaje (Hargreaves y Merkle 2000).

Otro aspecto a considerar es la infiltración básica. Esta es el movimiento vertical del agua en el suelo, obedece a gradientes de potencial hídrico y también es controlado por la capacidad del suelo para permitir el paso del agua a través de sus poros (Narro 2004). La infiltración depende de muchos factores tales como el tipo de suelo, el contenido de humedad, el contenido de materia orgánica y la estación del año. Cuando la precipitación es mayor que la infiltración básica, se forman encharcamientos en terrenos, por lo cual este es uno de los factores que determina la escorrentía superficial en un sistema de drenaje.

- Estudio topográfico: a través de la altimetría y planimetría se definen la conformación y la pendiente del terreno.
- Estudio agroeconómico: determina los cultivos más importantes del área y el valor actual de producción, estableciendo los beneficios del drenaje y sus costos.

Existen dos tipos de drenajes, drenaje subsuperficial y el drenaje superficial.

El drenaje subsuperficial o subterráneo se utiliza para la remoción o control del agua subterránea así como para la eliminación de las sales por lixiviación. Los drenes pueden ser zanjas abiertas o tubos perforados enterrados. Los pozos con bombas pueden servir para controlar la posición de la capa freática en áreas donde esta es un problema (Hargreaves y Merkle 2000).

El drenaje superficial tiene como finalidad la remoción del exceso de agua sobre la superficie del terreno. Consiste en una serie de canales poco profundos que recogen la escorrentía superficial y la descarga a los drenes principales. Normalmente se aprovechan cauces naturales o depresiones para los colectores principales y secundarios (Villon 2004).

El objetivo de este estudio fue diseñar un sistema de drenaje para la finca San Nicolás, El Zamorano, Honduras. Como objetivos específicos se planteó identificar el problema de drenaje existente, identificar características hidrodinámicas del terreno, definir el tipo de sistema de drenaje a implementar y los costos de implementación.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio se realizó en la finca San Nicolás, Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano, San Antonio de Oriente, Francisco Morazán, Honduras. La finca 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 temperatura promedio anual es de 23.4°C, la precipitación de 1084.5 mm/año, la radiación solar de 403.2 cal/cm<sup>2</sup>, la velocidad del viento de 1.9 m/s y la humedad relativa de 75.2%<sup>1</sup>.

Se analizó un área de 51 ha, que se encuentra subdividida en cuatro lotes A, B, C y D de 11.8, 11.1, 13.9 y 14.3 hectáreas respectivamente (Anexo 1). Cuenta con un sistema de riego por pivote central y en los últimos años se ha sembrado gramíneas (maíz y sorgo) y leguminosas (frijol).

### **Diagnóstico visual**

Durante la temporada de lluvias del 2007 y 2008 se observaron problemas de exceso de agua sobre la superficie del terreno; con encharcamientos y sectores del cultivo con un crecimiento limitado por exceso de humedad. También se identificaron fuentes de agua aledañas que pudieran ejercer influencia sobre el área y la existencia de un sistema de drenaje.

### **Precipitación extrema**

La precipitación extrema indica la máxima precipitación ocurrida en 24 horas y su periodo de retorno es el intervalo de tiempo dentro del cual un evento puede igualar o exceder el caudal de la precipitación extrema (Cuadro 1).

La elección de la precipitación máxima influye en los costos, ya que a mayor sea la precipitación, los drenes tienen que tener una mayor dimensión, por lo que serán más costosos y habrá menos área en producción

---

<sup>1</sup> Álvarez F. 2008. Temperatura y precipitación en El Zamorano, Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano, EAP. (comunicación personal).

**Cuadro 1.** Períodos de retorno y su probabilidad de ocurrencia para las precipitaciones de El Zamorano, Honduras, 2008.

| Probabilidad de ocurrencia (%) | Periodo de Retorno (años) | Predicción de Precipitación (mm/día) | Desviación Estándar |
|--------------------------------|---------------------------|--------------------------------------|---------------------|
| 50                             | 2                         | 74.45                                | 5.42                |
| 20                             | 5                         | 104.29                               | 9.15                |
| 10                             | 10                        | 124.04                               | 12.27               |

Fuente: Quiroz 2008<sup>2</sup>.

### Evaporación

Se analizó la base de datos de 1989-2007 de los meses de noviembre y diciembre (Anexo 2), ya que estos presentan la menor evaporación en el año.

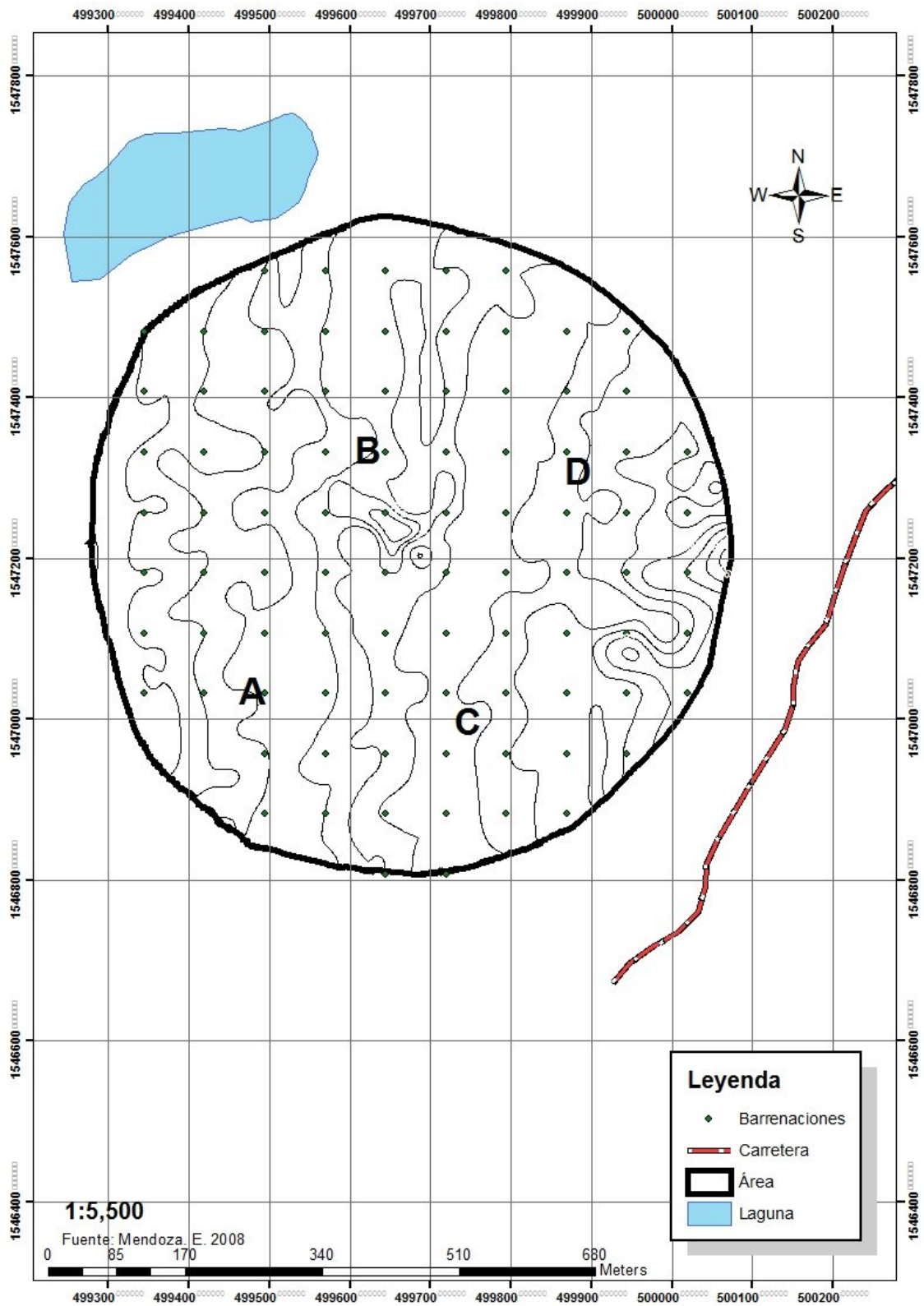
### Balance hídrico

Con los datos obtenidos de la estación climatológica de El Zamorano se realizó un balance hídrico con registros de 1989-2008, determinado las épocas con déficit o exceso de agua.

### Clasificación de suelo en San Nicolás

Se realizaron barrenaciones espaciadas a  $75 \times 75$  m a 1.20 m de profundidad formando una cuadrícula en toda el área con un total de 89 barrenaciones (Figura 1), con ellos se agruparon los suelos por clase (grupos que presentan condiciones de suelo similares en el grado relativo de limitaciones y riesgo de deterioro para uso en forma sostenible) y en subclases (grupos de suelo dentro de una clase que tienen limitaciones del mismo tipo) por familia textural.

<sup>2</sup> Quiroz C. 2008. Precipitación máxima y su periodo de retorno, Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano, EAP. (comunicación personal)



**Figura 1.** Mapa red de barrenaciones en la finca San Nicolás, El Zamorano, Honduras 2008.

Clasificación de familias texturales (Arévalo y Gauggel 2006)

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.

Clase por aptitud

La aptitud de los suelos está dada por el grado de restricción o limitación para la producción agrícola (Cubero 2001).

Clase I. Dentro de esta clase incluyen tierras con pocas limitaciones o sin ellas para el desarrollo de actividades agrícolas, pecuarias o forestales adaptadas ecológicamente a la zona.

Clase II. Las tierras de esta clase presentan leves limitaciones que solas o combinadas reducen la posibilidad de elección de actividades o se incrementan los costos de producción debido a la necesidad de usar prácticas de manejo y conservación de suelos

Clase III. Las tierras de esta clase presentan limitaciones moderadas que solas o combinadas restringen la elección de los cultivos.

Clase IV. Las tierras de esta clase presentan fuertes limitaciones que solas o combinadas restringen su uso a vegetación semi-permanente.

### **Infiltración básica**

La infiltración básica se determinó utilizando el método del doble cilindro el cual consiste en calcular la velocidad de entrada vertical del agua al perfil del suelo.

- Se seleccionó el lugar para cada cilindro de acuerdo a la clasificación de suelo.
- Se colocó sobre cada cilindro un trozo de madera, luego se golpeó con una almádana de manera uniforme para que el cilindro no quedara inclinado. Se usaron tres repeticiones espaciadas a 20 m entre cada una formando un triangulo por cada prueba.
- Se colocó un cilindro de mayor diámetro que rodeó al cilindro central.
- Se colocó una bolsa como protector de erosión dentro del cilindro central.
- Se llenó con agua el cilindro central hasta llegar a una altura de 1 cm del borde.

- Se determinó un punto en el borde del cilindro para colocar la regla milimetrada (este punto fue usado a lo largo de toda la prueba), luego se retiró el protector de erosión.
- Cuando la lámina de agua bajó a 5 cm de la parte inferior se rellenó al nivel inicial, tomando el nivel de agua antes y después de rellenarlo.
- Se registró la lectura que indicó la regla milimetrada y también el tiempo que demoró la medición.
- El cilindro de mayor diámetro siempre se mantuvo con agua a lo largo de toda la prueba, disminuyendo el movimiento lateral del agua del cilindro central.
- Se midió la altura del nivel de agua en el cilindro central a intervalos periódicos (1, 2, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 80, 100, 120, 150, 180 y 240 minutos).
- Cuando se terminó la prueba se removieron y limpiaron los cilindros.
- Se analizó la infiltración básica (IB)<sup>3</sup> (Anexo 3).

### **Nivel Freático**

Para determinar el nivel freático se utilizaron los freatómetros, que consisten de un tubo PVC de 1.40 m de largo y 5.08 cm de diámetro, con agujeros en la mitad del tubo (0-70 cm). Se instalaron en el terreno espaciados a 150 m × 150 m a una profundidad de 1.20 m formando una red de pozos de observación. Se agregó gravilla alrededor del tubo para evitar que el suelo causara taponamiento de las perforaciones y así permitir el movimiento del agua a través del tubo y determinar la ubicación del manto freático.

Los freatómetros 1B, 2B, 3B, 1A y 2A (Figura 2); también se utilizaron para comprobar si hubo influencia de un falso nivel freático por las fuentes de agua aledañas al territorio. Una vez instalados los freatómetros se llevó un registro semanal del comportamiento del nivel freático durante el periodo de lluvia (junio a septiembre de 2008).

---

<sup>3</sup> Álvarez F. 2008. Infiltración básica. Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano, EAP (comunicación personal)

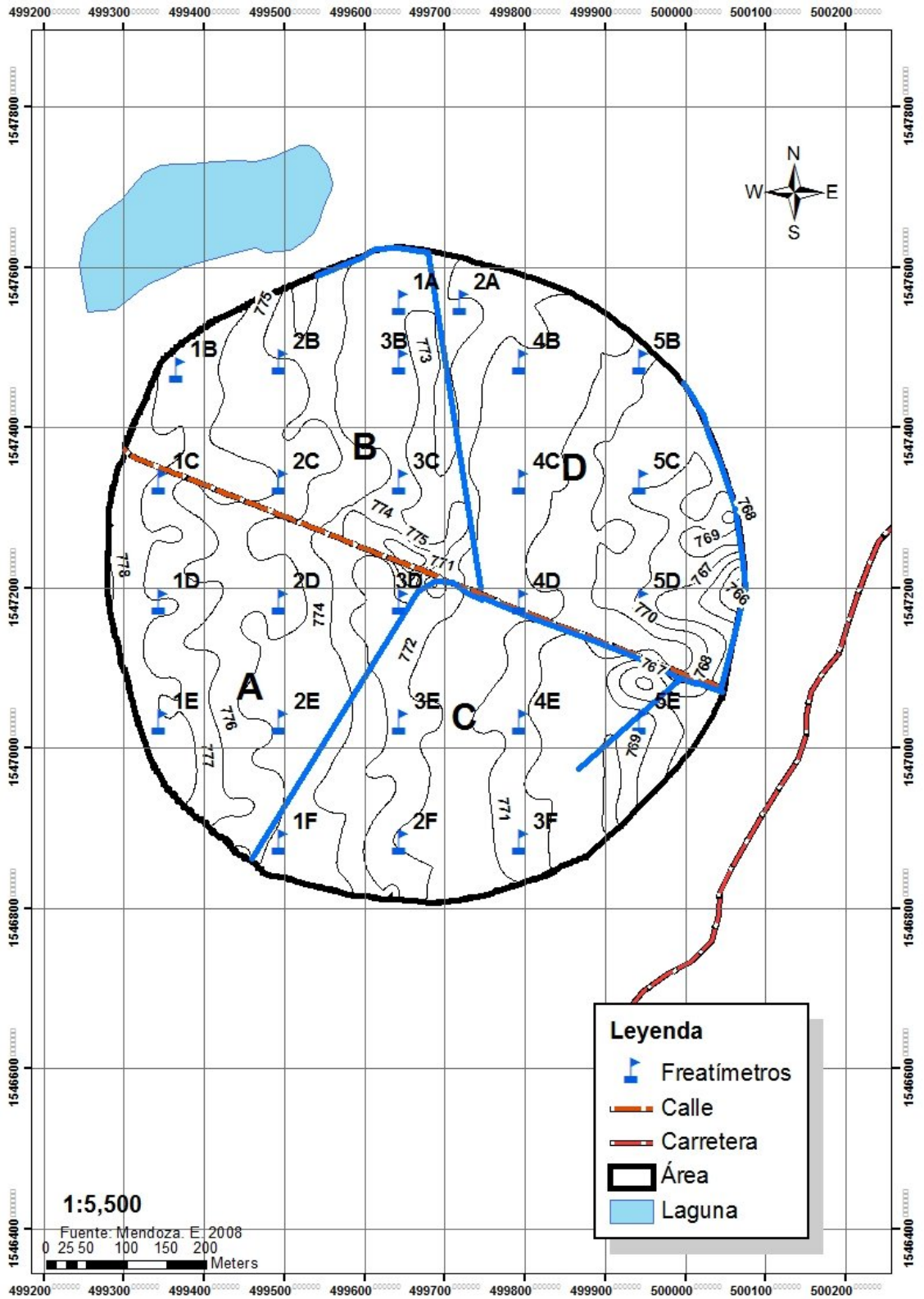


Figura 2. Mapa de red de freatímetros en la finca San Nicolás, El Zamorano, Honduras, 2008.

### **Conductividad Hidráulica**

La conductividad hidráulica se determinó en cada frentómetro por el método del pozo invertido (Dieleman 2000). Este método consiste en llenar con agua los frentómetros hasta el nivel del suelo y luego medir el tiempo de infiltración o descarga; esta medición se realizó con un flotador atado con un cáñamo, luego el flotador se colocó dentro del frentómetro, se tomó como referencia la orilla superior del tubo, lo cual permitió tomar lectura cada dos minutos de la variación del nivel del agua.

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 frentómetro (cm)
- $h_1$  = Altura inicial (cm)
- $h_n$  = Altura final (cm)
- $t_1$  = Tiempo inicial (min)
- $t_n$  = Tiempo final (min)

### **Estudio topográfico**

El levantamiento topográfico se realizó con la estación total de la Carrera de Desarrollo Socio Económico y Ambiente, de El Zamorano.

### **Diseño del sistema de drenaje**

La evaluación del drenaje natural se llevó a cabo a través de la observación y de la información obtenida de clima, los frentómetros, topografía, conductividad hidráulica y caracterización de suelos. El diseño comprendió cuatro fases principales:

- Cálculo de la escorrentía
- Cálculo del coeficiente de drenaje ( $C_d$ )
- Trazado y diseño de la red de drenes
- Estimación de costos de implementación del sistema de drenaje

La escorrentía ocurre cuando la precipitación supera la capacidad de infiltración del suelo. Se utilizó el método de balance hídrico para determinar la escorrentía (Villon 2004):

$$E = P - I - E_v \quad (2)$$

Donde:

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

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 (Villon 2004):

$$Cd = 4.573 + 1.62 \times E \quad (3)$$

Donde:

Cd = Coeficiente de drenaje (L/ha)  
 E = Escorrentía total (mm)

El caudal de diseño de un dren es el volumen de agua que atravesará el dren para drenar un área determinada. El caudal de diseño se determinó con la ecuación (Villon 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 (Villon 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.

$$Q_d = Q_1 + Q_2 \quad (5)$$

Caso 2

El área tributaria menor de uno de los colectores es menor que el 20% del área total. El caudal de diseño se calcula con la siguiente ecuación:

$$Q_d = Cd \times (A_1 + A_2) \quad (6)$$

## Caso 3

El área tributaria menor de uno de los colectores está comprendida entre el 20 y 40% del área total. Se cálculo con la ecuación:

$$Q_d = Q_{(A_1+A_2)} + (Q_{A_1} + Q_{A_2} - Q_{(A_1+A_2)}) \times (A_1 / 0.2 (A_1 + A_2)) \quad (7)$$

Donde:

$Q_d$  = Caudal de diseño aguas abajo de la intersección en L/s

$Q_{(A_1+A_2)}$  = Caudal de diseño para el caso L/s

$Q_{A_1}$  y  $Q_{A_2}$  = Caudales de los drenes para las áreas 1 y 2, en L/s

$A_1 + A_2$  = Área total, en ha

$A_1$  = Área menor, en ha

$A_2$  = Área mayor, en ha

- Diseño de la red de drenes

El cálculo del caudal (Q). Para cada dren, se obtuvo a través de la ecuación (4) y la pendiente (S) de cada dren que se determinó con la topografía del terreno.

Velocidad media en los drenes (V). Por las características texturales de suelo arcilloso que predominan en el área de estudio, se utilizó una velocidad máxima de 0.90 m/s (Villon 2004).

Coefficiente de rugosidad (n). Se utilizó un coeficiente de 0.050 en función de las condiciones del dren, ya que este se mantendrá limpio (Anexo 4).

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 secundarios y un talud de 1:1 para el dren primario (Villon 2004).

Ancho de corona (C): En función del caudal, se puede considerar un ancho de corona de 0.60 m para caudales menores de 0.50 m<sup>3</sup>/s y de 1 m para caudales mayores (Villon 2004)

Área hidráulica (A). Se determinó según la ecuación de continuidad, ya que se conocen Q y V a través de la ecuación (Villon 2004):

$$A = Q/V \quad (8)$$

Tirante (y). El tirante es la profundidad de agua en el dren, se determinó con la ecuación (Villon 2004):

$$((b + Z y)y)^5 / (b + 2(1 + Z^2)^{1/2}y)^2 = (Q \times n / S^{1/2})^3 \quad (9)$$

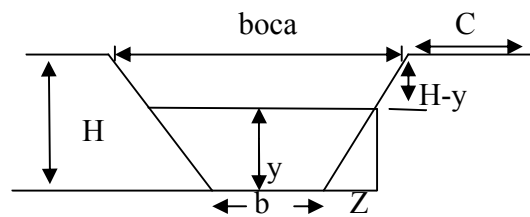
Boca. Permite conocer la pérdida del área sembrada y que es ocupada por los drenes. Se determinó con la ecuación (Villon 2004):

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

Profundidad total (H). La profundidad total del dren se determinó una vez conociendo el tirante y el bordo libre a través de la ecuación (Villon 2004):

$$H = y + B.L. \quad (11)$$

Con base en estos parámetros se determinó las dimensiones de los drenes con un diseño trapezoidal (Figura 3).



**Figura 3.** Diagrama de los drenes de la finca San Nicolás, El Zamorano, Honduras

- Estimación de costos

Con el diseño de las dimensiones de los drenes, se determinó el total de metros cúbicos que se deben remover y el precio por metro cúbico removido, con lo cual se determinó el costo de implementación.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Diagnóstico visual**

Se observó que en el terreno existen problemas de encharcamiento, principalmente en los lotes C y D (Figura 4). Los encharcamientos generan impacto sobre el desarrollo fisiológico de los cultivos (Figura 5). Existe un sistema de drenaje en el terreno el cual está conformado por un dren colector o principal y cinco drenes secundarios.

### **Estudio Climatológico**

#### **Precipitación extrema**

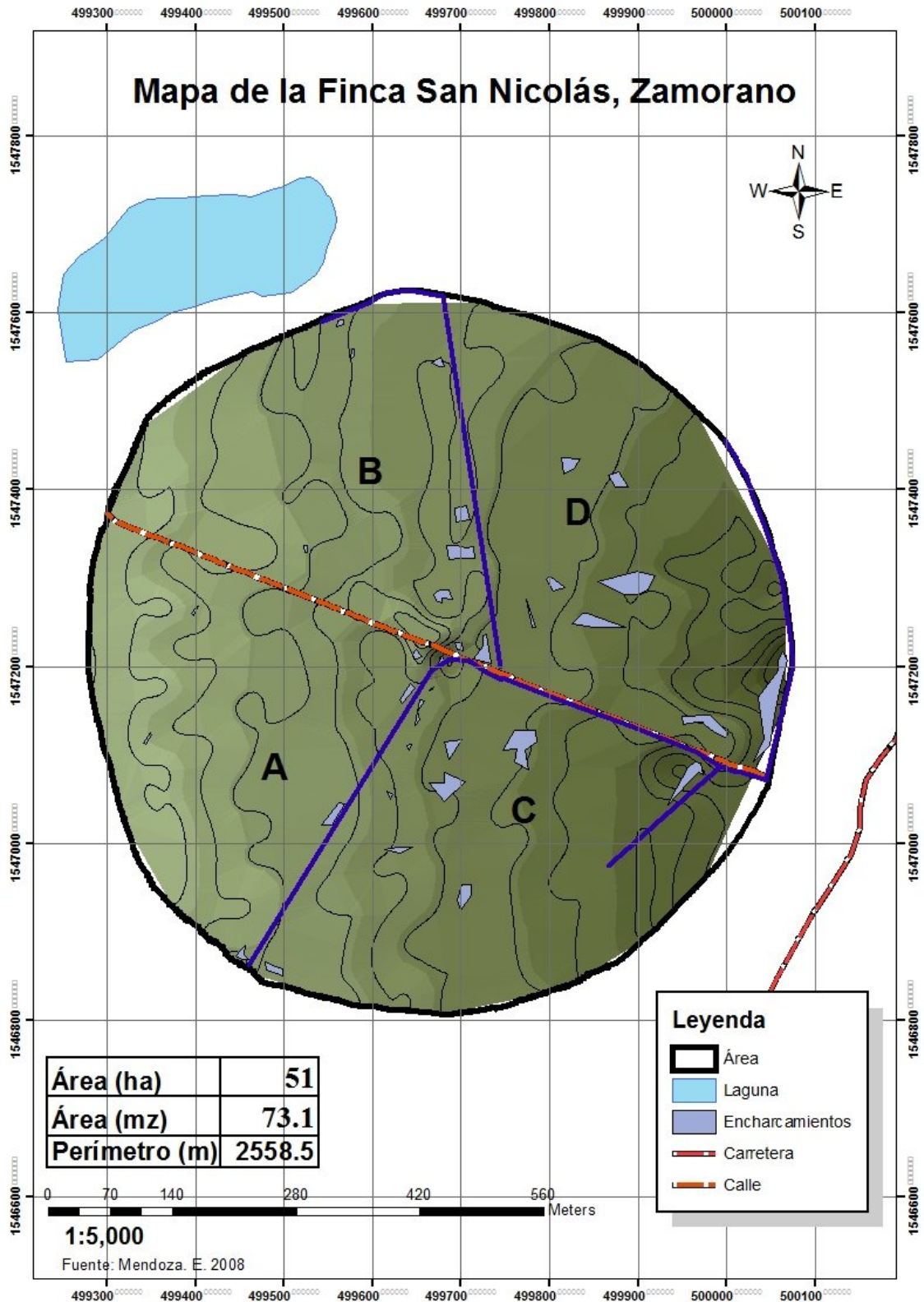
Se determinó una precipitación máxima de 74.4 mm/día con una probabilidad de 50% de ocurrencia cada dos años.

#### **Evaporación**

Se determinó una tasa de evaporación de 3.4 mm/día a través de un promedio de los datos de 1989- 2008 para los meses de noviembre y diciembre (Anexo 5).

#### **Balance hídrico**

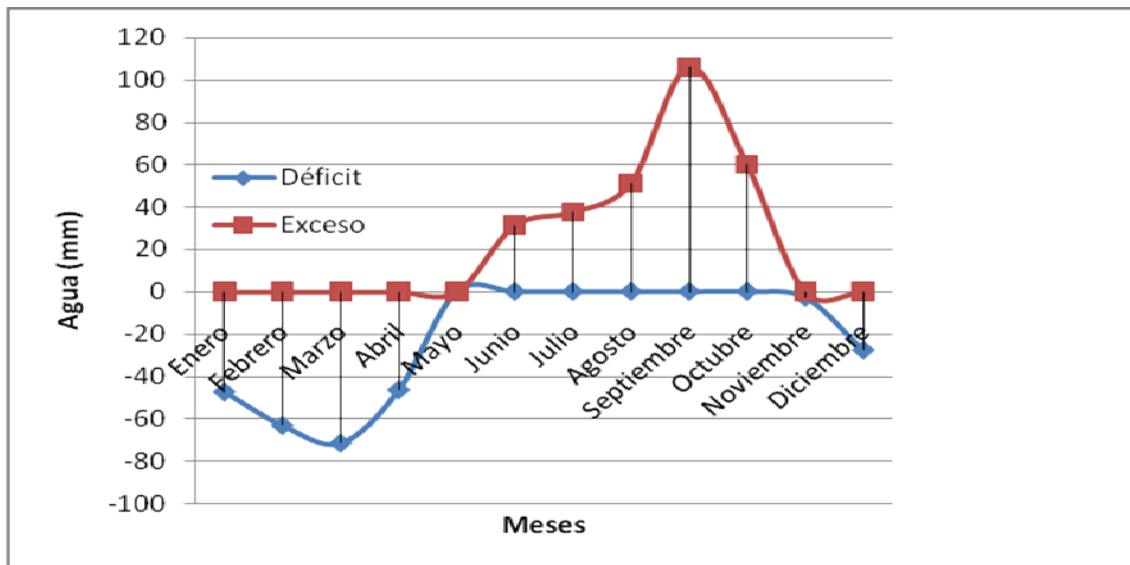
Comparando las precipitaciones con la evapotranspiración potencial se determinó los periodos de déficit de agua que van de noviembre a mayo y los periodos de exceso de agua que van desde junio a octubre (Figura 6).



**Figura 4.** Áreas con problemas de encharcamiento en la finca de San Nicolás, El Zamorano, Honduras, 2008.



**Figura 5.** Cultivo de maíz afectado por el mal drenaje en la finca San Nicolás, El Zamorano, Honduras, 2008.



**Figura 6.** Balance hídrico en la finca San Nicolás, El Zamorano, Honduras, 2008

### Estudio Edáfico

El terreno presentó variaciones de suelo (Figura 7) que se agruparon en dos clases por aptitud con cinco subclases por familia textural (Cuadro 2).

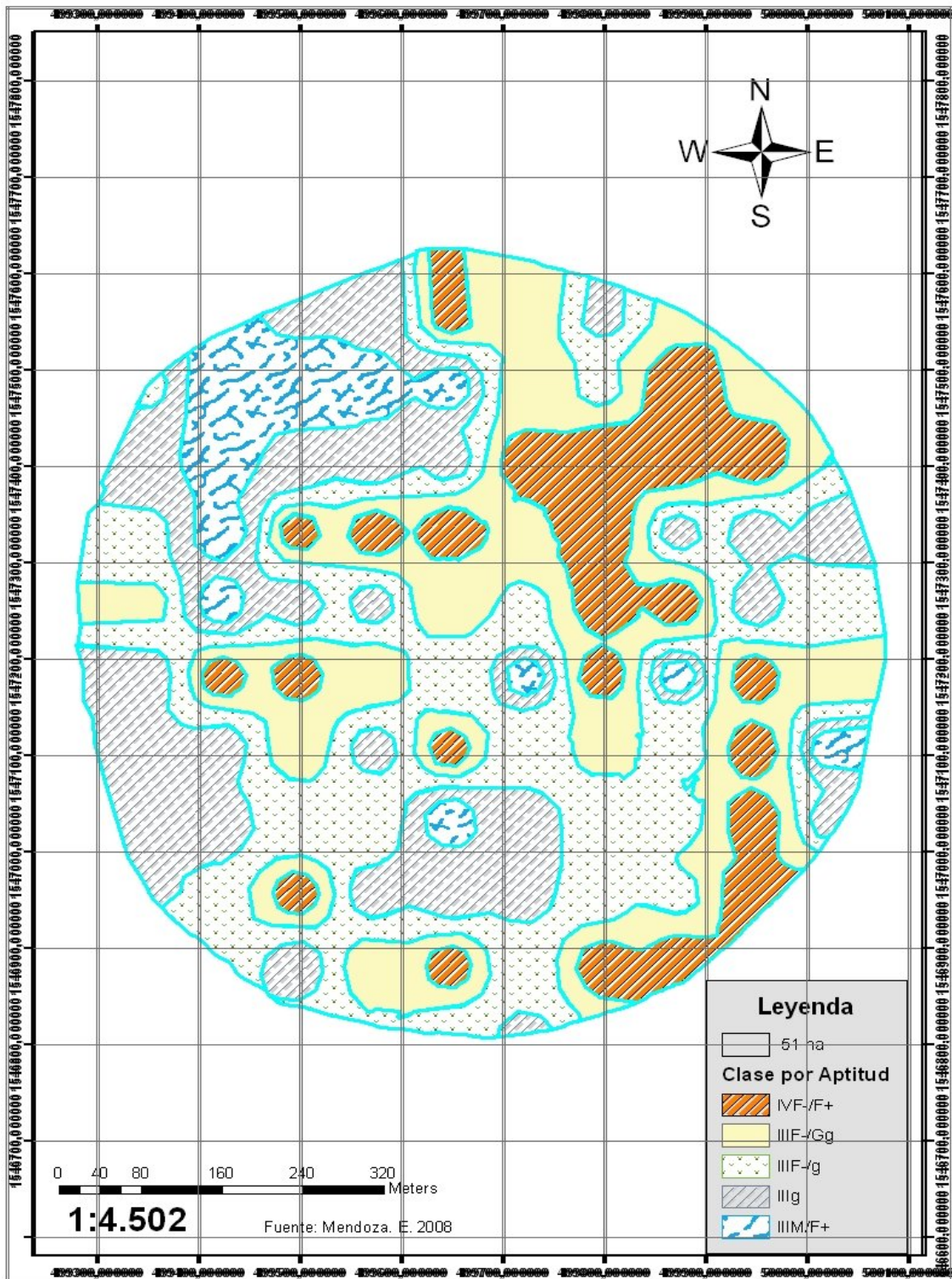
**Cuadro 2.** Clasificación textural y por aptitud de los suelos en San Nicolás, El Zamorano, Honduras 2008.

| Clase de suelo por aptitud       | Familias texturales   | Área (ha) | Porcentaje (%) |
|----------------------------------|---|-----------|----------------|
| IVF <sup>-</sup> /F <sup>+</sup> | (F <sup>-</sup> /F <sup>+</sup> )/(F <sup>+</sup> ); (F <sup>-</sup> /F <sup>+</sup> )/(F <sup>-</sup> /Gg); (F <sup>-</sup> /F <sup>+</sup> )/(Gg) | 7.2       | 14.1           |
| IIIF <sup>-</sup> /Gg            | (F <sup>-</sup> /g)/(Gg); (F <sup>-</sup> /M)/(g/Gg)  | 12.9      | 25.2           |
| IIIF <sup>-</sup> /g             | (F <sup>-</sup> /M)/(F <sup>+</sup> /Gg); (F <sup>-</sup> /M)/(F <sup>-</sup> /Gg); (F <sup>-</sup> /M)/(g/F <sup>+</sup> )                         | 15.7      | 30.9           |
| IIIg                             | (M/g)/(Gg); (M/Gg)/(Gg)   | 11.5      | 22.6           |
| IIIM/F <sup>+</sup>              | (M/F <sup>+</sup> )/(F <sup>+</sup> ); (M/F <sup>-</sup> )/(g/F <sup>+</sup> ); (M/F <sup>-</sup> )/(M/g); (M/F <sup>-</sup> )/(M/Gg)               | 3.6       | 7.2            |

F<sup>-</sup>= Muy finas; F<sup>+</sup>= finas M=medias; Gg=piedra o grava g=gruesa / = Variación textural

( ) = indican familia textural entre 0 a 60 cm y 60 a 120 cm

Predominan suelos de clase III, limitados por más de 35% de arcilla entre 30 a 40 cm sobre Grava (Gg) (12.9 ha) o arcilla muy fina (F<sup>+</sup>) (15.7 ha) o intercalada con material de textura media (M) y muy finas (F<sup>+</sup>), clase III con texturas gruesas (g) (11.5 ha) y clase IV, con texturas de menos de 35% de arcilla entre 0-30 cm sobre muy arcilla fina (F<sup>+</sup>) debajo de 30 cm (7.2 ha).



F<sup>-</sup> Muy finas; F<sup>+</sup> finas M<sup>-</sup>medias; Gg=pedra o grava g=gruesa / = Variación textural

Figura 7. Mapa de clases de suelos por aptitud y subclases por familia textural de la finca San Nicolás, El Zamorano, Honduras, 2008.

**Infiltración básica**

Para el diseño del sistema de drenaje se utilizó una tasa de infiltración de 2.1 mm/hora (Anexo 6).

**Nivel freático**

No existió influencia de un nivel freático ni evidencia de que las fuentes de agua aledañas al terreno (laguna y sistema de riego de caña de azúcar) provocan un falso nivel freático en el terreno. Los freatómetros que presentaron lectura de nivel de agua están influenciados en los primeros 60 cm por suelo de textura muy fina (>35% de arcilla). Los freatómetros que se encuentran a una misma altura pero con diferente textura de suelo no presentan lectura de nivel de agua (Anexo 7).

En la calicatas se identificó a los 0.28 m horizontes de suelo con textura arcillosa muy fina lo que genera una percolación del agua más lenta dentro del perfil del suelo, provocando moteos. La profundidad efectiva fue limitada a los 0.37 m.

**Conductividad hidráulica**

Se determinó la conductividad hidráulica en cada freatómetro (Anexo 8). Los problemas de encharcamiento se reflejan en los lotes C y D, en los que predomina un suelo más pesado lo cual causa una conductividad hidráulica lenta a muy lenta (Anexo 9) provocando encharcamientos (Figura 8).

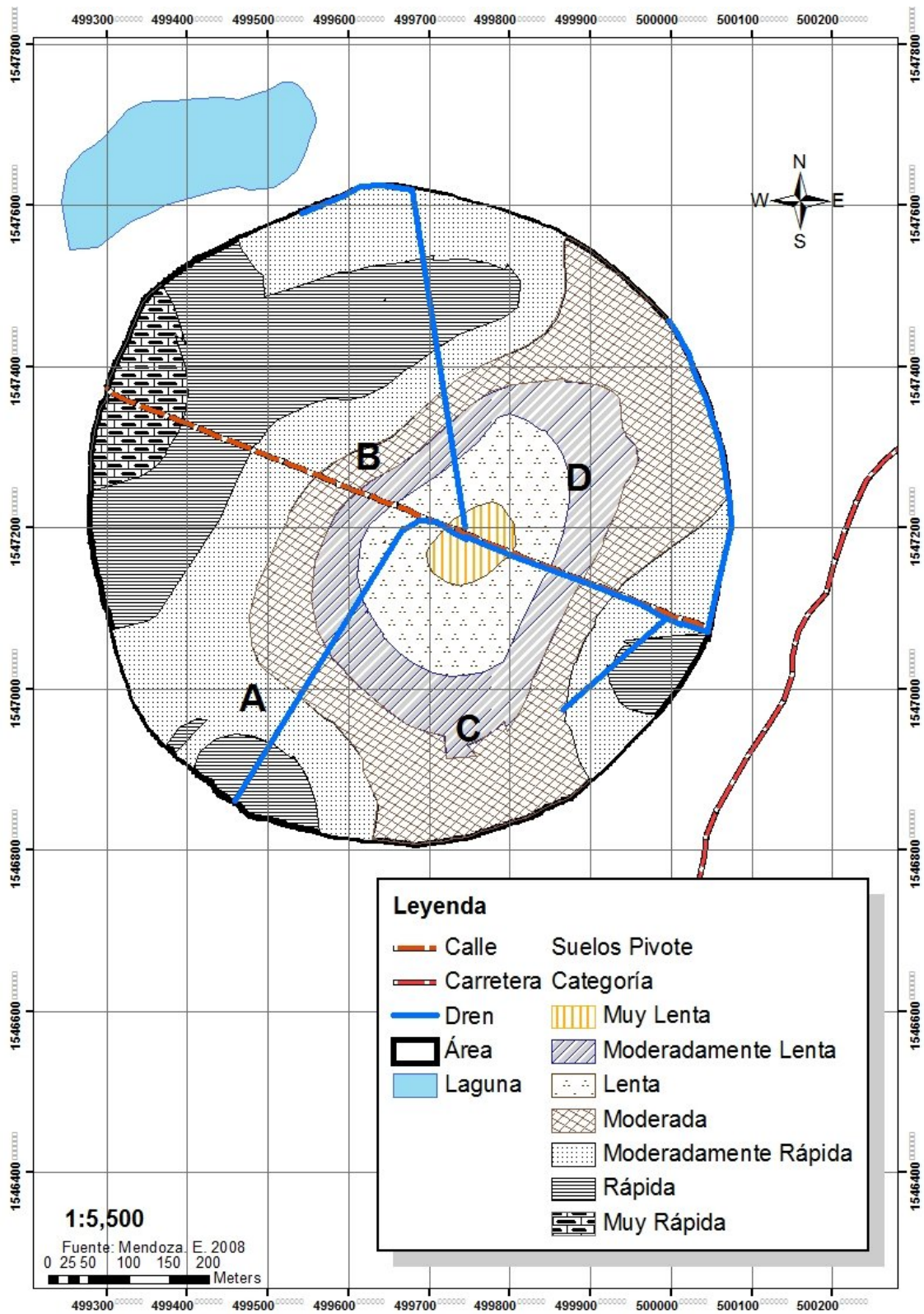


Figura 8. Mapa de conductividad hidráulica de la finca San Nicolás, El Zamorano, Honduras, 2008

Se determinó que sólo la clase IIIg presenta valores rápidos de conductividad ya que está influenciado por partículas gruesas, al contrario de los otros tipos de suelo que presentan rangos de conductividad amplios, esto se debe a la influencia de partículas finas (arcilla) y por el pie de arado (compactación) del terreno (Cuadro 3).

**Cuadro 3.** Clasificación edáfica y conductividad hidráulica en San Nicolás, El Zamorano, Honduras, 2008.

| Clase de suelo por aptitud         | Área (ha) | Porcentaje (%) | Conductividad hidráulica (kh), cm/h |
|------------------------------------|-----------|----------------|-------------------------------------|
| IV F <sup>+</sup> / F <sup>-</sup> | 7.2       | 14.1           | 32.77 - 0.05                        |
| III F <sup>-</sup> /Gg             | 12.9      | 25.2           | 8.58 - 0.53                         |
| III F <sup>-</sup> /g              | 15.7      | 30.9           | 29.09 - 0.05                        |
| IIIg                               | 11.5      | 22.6           | 31.83 - 9.96                        |
| IIIM/ F <sup>+</sup>               | 3.6       | 7.2            | 22.19 - 0.92                        |

F<sup>-</sup>= Muy finas; F<sup>+</sup>= finas M<sup>-</sup>=medias; Gg<sup>-</sup>=piedra o grava g<sup>-</sup>=gruesa / = Variación textural

### Estudio topográfico

Con las curvas a nivel se determinó que la inclinación del terreno viene en dirección de oeste a este, encontrando una diferencia de elevación de 13 m, con una pendiente promedio de 1.5 %. En el lote D se identificó un área de 2.5 ha que se encuentra 3 m más bajo que el punto de evacuación del agua, por lo cual este sector se inunda en la época de lluvia y recibe la escorrentía del lote D que no tiene evacuación (Figura 9).

La topografía muestra que la pendiente del terreno permite el flujo del agua pero el trabajo de la maquinaria agrícola y la erosión han depositado tierra a las orillas de los drenes existentes, lo cual también genera encharcamientos por obstaculizar la salida hacia el dren ya que también limita el flujo de agua en los drenes.

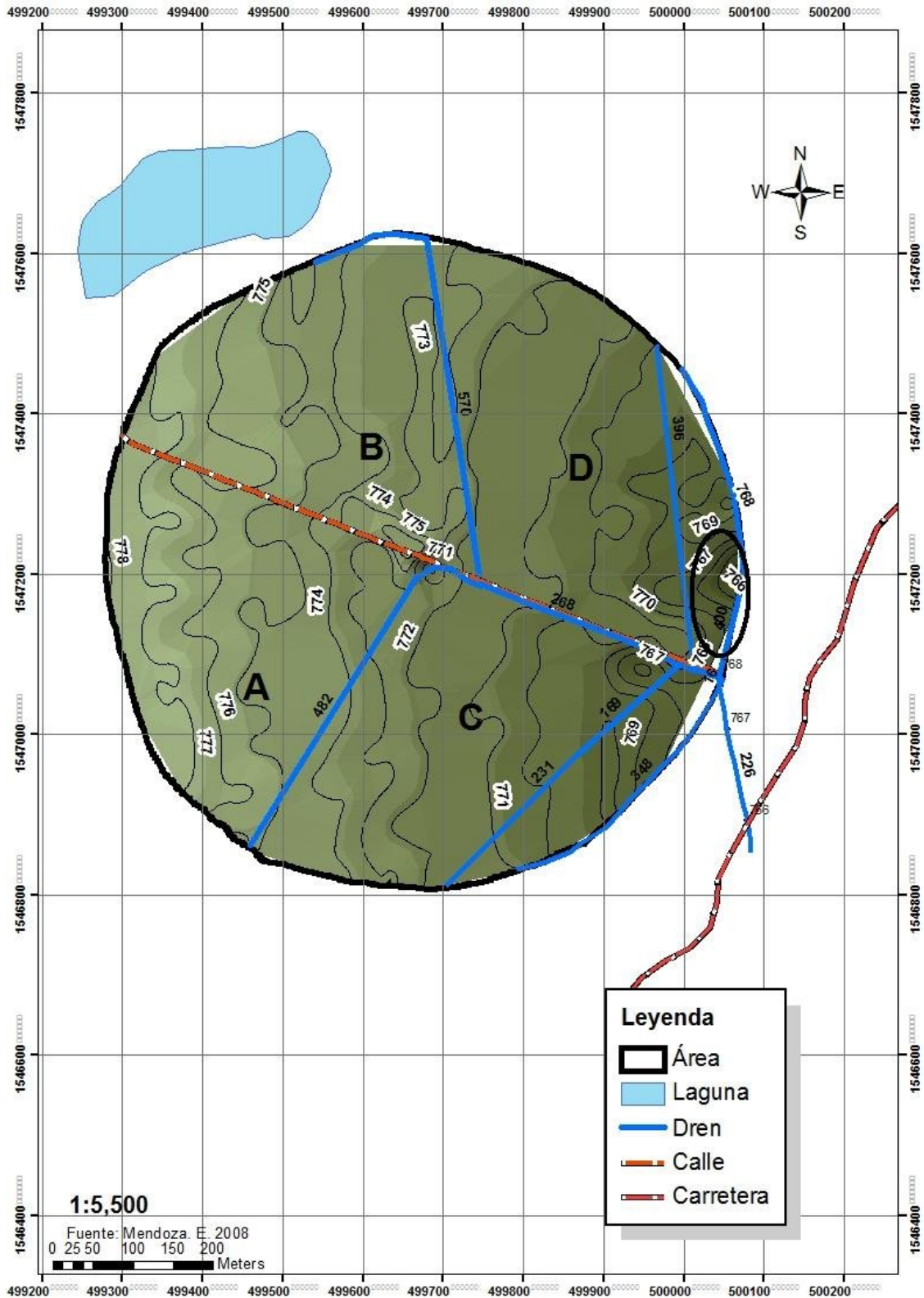


Figura 9. Mapa de curvas a nivel en San Nicolás, El Zamorano, Honduras, 2008.

### **Diseño del sistema de drenaje**

En las determinaciones y análisis realizados sobre el terreno se observaron sectores afectados por encharcamientos, causados por suelos arcillosos, poca profundidad efectiva y conductividad hidráulica baja a moderada. Actualmente existe un sistema de drenaje superficial al cual no se le ha brindado el mantenimiento adecuado y el cual ha sido dañado por labores de acondicionamiento de calles ejecutado por la Compañía Azucarera Tres Valles.

Considerando a) que no se encontró ninguna influencia de un nivel freático; b) la velocidad de movimiento por conductividad hidráulica; c) las texturas finas y d) la pendiente del terreno, se recomienda un sistema de drenaje superficial.

El sistema de drenaje superficial constará de siete drenes secundarios y un dren principal de evacuación de escorrentía de agua. La ubicación de los drenes se determinó según la pendiente del terreno, las principales zonas de encharcamiento y la velocidad de movimiento por conductividad hidráulica de manera que corte el flujo de exceso de agua para dirigirlo hacia el dren principal y así evacuar el agua del terreno.

El nuevo sistema de drenaje está apoyado de los drenes existentes, lo cual ayudará a reducir los costos de implementación ya que solo habrá la necesidad de abrir tres drenes nuevos secundarios y se modificará la posición del dren Q2; a los otros drenes se les debe brindar mantenimiento y dimensiones apropiadas.

Los drenes se ubicarán en espina de pescado sesgados de norte a sur y de sur a norte (Figura 10) de acuerdo a las coordenadas de ubicación de la construcción de cada dren (Anexo 10). La distancia entre los drenes serán, entre Q1-Q3 111.1 m, Q3-Q5 173 m, Q5-Q7 107 m, Q2-Q4 157.3 y Q4-Q6 198.5m.

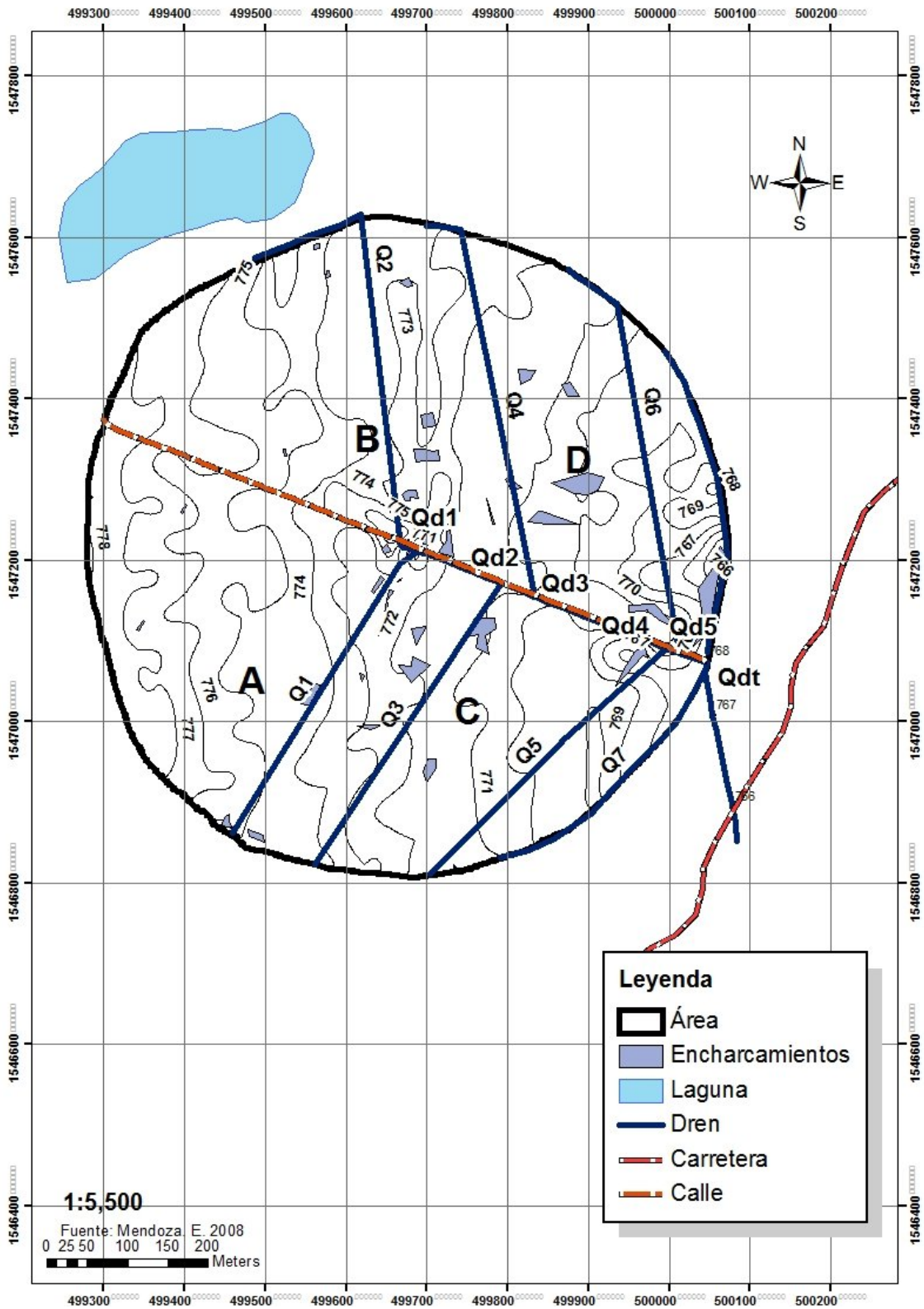


Figura 10. Sistema de drenaje superficial propuesto para la finca San Nicolás.

Con el caudal máximo de cada dren secundario (Cuadro 4), se determinó el caudal máximo en cada intersección entre estos (Cuadro 5), para determinar las dimensiones del dren secundario (Cuadro 6) y el dren primario o colector (Cuadro 7), estos cálculos se obtuvieron con base a estos parámetros:

|                                  |      |
|----------------------------------|------|
| Precipitación máxima (mm/día)    | 74.4 |
| Infiltración (mm/día)            | 55.2 |
| Evaporación (mm/día)             | 3.3  |
| Escorrentía (mm/día)             | 15.9 |
| Coefficiente de Drenaje (L/s/ha) | 7.2  |

**Cuadro 4.** Caudal máximo de cada dren secundario en la finca San Nicolás, El Zamorano, 2008.

| Caudal máximo de cada dren | Terreno drenado (ha) | Caudal (m <sup>3</sup> /s) |
|----------------------------|----------------------|----------------------------|
| Q1                         | 11.78                | 0.062                      |
| Q2                         | 8.44                 | 0.047                      |
| Q3                         | 4.67                 | 0.029                      |
| Q4                         | 6.20                 | 0.036                      |
| Q5                         | 6.68                 | 0.039                      |
| Q6                         | 7.28                 | 0.041                      |
| Q7                         | 2.80                 | 0.019                      |

**Cuadro 5.** Caudal máximo en cada intersección de los drenes en la finca San Nicolás, El Zamorano, Honduras. 2008.

| Intersección  | Caudal (m <sup>3</sup> /s) |
|---------------|----------------------------|
| Q1 y Q2 = Qd1 | 0.109                      |
| Qd1 y Q3= Qd2 | 0.115                      |
| Qd2 y Q4= Qd3 | 0.139                      |
| Qd3 y Q5= Qd4 | 0.163                      |
| Qd4 y Q6= Qd5 | 0.189                      |
| Qd5 y Q7= Qdt | 0.332                      |

**Cuadro 6.** Dimensiones de los drenes secundarios de la finca San Nicolás, El Zamorano, Honduras, 2008.

| Dren | Q<br>(m <sup>3</sup> /s) | V<br>(m/s) | S<br>(m/m) | n    | Z<br>(talud) | b (m) | y (m) | A<br>(m <sup>2</sup> ) | B.L<br>(m) | H (m) | C<br>(m) | boca<br>(m) | Largo<br>del dren<br>(m) | Área<br>ocupada<br>por el dren<br>(m <sup>2</sup> ) |
|------|--------------------------|------------|------------|------|--------------|-------|-------|------------------------|------------|-------|----------|-------------|--------------------------|---|
| Q1   | 0.062                    | 0.9        | 1.39       | 0.05 | 0.5          | 0.3   | 0.060 | 0.069                  | 0.3        | 0.360 | 0.6      | 1.57        | 430                      | 677.16  |
| Q2   | 0.047                    | 0.9        | 0.73       | 0.05 | 0.5          | 0.3   | 0.065 | 0.052                  | 0.3        | 0.365 | 0.6      | 1.58        | 545                      | 858.70  |
| Q3   | 0.029                    | 0.9        | 0.94       | 0.05 | 0.5          | 0.3   | 0.045 | 0.032                  | 0.3        | 0.345 | 0.6      | 1.57        | 424                      | 666.71  |
| Q4   | 0.036                    | 0.9        | 0.60       | 0.05 | 0.5          | 0.3   | 0.055 | 0.040                  | 0.3        | 0.355 | 0.6      | 1.57        | 498                      | 783.86  |
| Q5   | 0.039                    | 0.9        | 1.48       | 0.05 | 0.5          | 0.3   | 0.045 | 0.043                  | 0.3        | 0.345 | 0.6      | 1.57        | 404                      | 635.26  |
| Q6   | 0.041                    | 0.9        | 0.79       | 0.05 | 0.5          | 0.3   | 0.060 | 0.046                  | 0.3        | 0.360 | 0.6      | 1.57        | 504                      | 793.70  |
| Q7   | 0.019                    | 0.9        | 1.36       | 0.05 | 0.5          | 0.3   | 0.03  | 0.021                  | 0.3        | 0.330 | 0.6      | 1.57        | 352                      | 552.65  |
|      |                          |            |            |      |              |       |       |                        |            |       |          | Total       | 3157                     | 4968.03   |

**Cuadro 7.** Dimensiones del dren primario o colector de la finca San Nicolás, El Zamorano, Honduras, 2008.

| Intersección  | Q<br>(m <sup>3</sup> /s) | V (m/s) | S<br>(m/m) | n    | Z<br>(talud) | b<br>(m) | y<br>(m) | A (m <sup>2</sup> ) | B.L<br>(m) | H<br>(m) | C<br>(m) | boca<br>(m) | Largo<br>del<br>dren<br>(m) | Área<br>ocupada<br>por el<br>dren<br>(m <sup>2</sup> ) |
|---------------|--------------------------|---------|------------|------|--------------|----------|----------|---------------------|------------|----------|----------|-------------|-----------------------------|--|
| Q1 y Q2 = Qd1 | 0.109                    | 0.9     | 0.93       | 0.05 | 0.5          | 0.3      | 0.1      | 0.121               | 0.3        | 0.4      | 0.6      | 1.58        | 107                         | 169.18   |
| Qd1 y Q3= Qd2 | 0.115                    | 0.9     | 2.7        | 0.05 | 0.5          | 0.5      | 0.06     | 0.128               | 0.3        | 0.36     | 0.6      | 1.64        | 37                          | 60.57  |
| Qd2 y Q4= Qd3 | 0.139                    | 0.9     | 1.14       | 0.05 | 0.5          | 0.5      | 0.08     | 0.154               | 0.4        | 0.48     | 0.6      | 1.66        | 175                         | 289.68   |
| Qd3 y Q5= Qd4 | 0.163                    | 0.9     | 5.5        | 0.05 | 0.5          | 0.5      | 0.06     | 0.181               | 0.4        | 0.46     | 0.6      | 1.65        | 18                          | 29.74  |
| Qd4 y Q6= Qd5 | 0.189                    | 0.9     | 5.2        | 0.05 | 0.5          | 0.5      | 0.06     | 0.210               | 0.4        | 0.46     | 0.6      | 1.65        | 37                          | 61.13  |
| Qd5 y Q7= Qdt | 0.332                    | 0.9     | 1.33       | 0.05 | 0.5          | 0.75     | 0.1      | 0.369               | 0.4        | 0.50     | 0.6      | 1.73        | 225                         | 389.71   |
|               |                          |         |            |      |              |          |          |                     |            |          |          |             | Total                       | 599 1,000.02   |

## Costos de implementación del sistema de drenaje

Las pérdidas de producción por problemas de encharcamiento se estiman en un 20% aproximadamente. Actualmente la producción es de 100 qq/ha; tomando en cuenta las 51 ha en producción se pierden 1275 qq<sup>4</sup> por ciclo de maíz.

Se utilizará una moto niveladora para remover los 2,044.88 m<sup>3</sup> de tierra. El precio por metro cúbico es de L 65, con lo que se determinó el costo de excavación de los drenes secundarios (Cuadro 8) y del dren primario (Cuadro 9) Con estos valores se determinó el costo total del sistema de drenaje (Cuadro 10).

**Cuadro 8.** Costos de implementación de los drenes secundarios en la finca San Nicolás, El Zamorano, Honduras, 2008. \$1=L 19

| Dren  | Volumen (m <sup>3</sup> ) | Costos (L.) |
|-------|---------------------------|-------------|
| Q1    | 145.11                    | 9,432.13    |
| Q2    | 186.55                    | 12,125.84   |
| Q3    | 136.95                    | 8,901.66    |
| Q4    | 165.65                    | 10,767.44   |
| Q5    | 130.49                    | 8,481.78    |
| Q6    | 170.08                    | 11,055.33   |
| Q7    | 108.61                    | 7,059.74    |
| total | 1,043.44                  | 67,823.92   |

**Cuadro 9.** Costos de implementación del dren principal o colector en la finca San Nicolás, El Zamorano, Honduras, 2008. \$1=L 19

| Intersección  | Volumen (m <sup>3</sup> ) | Costos (L.) |
|---------------|---------------------------|-------------|
| Q1 y Q2 = Qd1 | 40.26                     | 2,616.66    |
| Qd1 y Q3= Qd2 | 14.23                     | 925.14      |
| Qd2 y Q4= Qd3 | 90.52                     | 5,883.95    |
| Qd3 y Q5= Qd4 | 8.91                      | 579.18      |
| Qd4 y Q6= Qd5 | 18.32                     | 1,190.53    |
| Qd5 y Q7= Qdt | 139.62                    | 9,075.00    |
| Total         | 311.85                    | 20,270.46   |

<sup>4</sup> Reconco R. 2008. Efecto de mal drenaje en la finca San Nicolás, El Zamorano, Honduras. Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano, EAP. (comunicación personal)

**Cuadro 10.** Costos de implementación del sistema de drenaje superficial propuesto para la finca San Nicolás, El Zamorano, Honduras, 2008. \$1=L 19

| Dren        | Metros (m <sup>3</sup> ) | Costos (L.) |
|-------------|--------------------------|-------------|
| Principal   | 311.85                   | 20,270.46   |
| Secundarios | 1,733.02                 | 112,646.49  |
| total       | 2,044.88                 | 132,916.95  |

## **CONCLUSIONES**

- La finca de San Nicolás presenta problemas de escorrentía o encharcamiento en los sectores con baja conductividad hidráulica y por la pendiente del terreno en los lotes C y D.
- No existe influencia de un nivel freático sobre el terreno, además las fuentes de aguas alledañas no causaron la formación de un falso nivel freático.
- Se necesita un sistema de drenaje superficial para corregir el problema de drenaje existente en el terreno.
- El costo de implementación del sistema de drenaje es de L. 132,916.

## **RECOMENDACIONES**

- Implementar el sistema de drenaje superficial diseñado en este trabajo para permitir la evacuación de exceso de agua y poder obtener una mayor producción.
- Evaluar la posibilidad de evacuar el exceso de agua en un sector de 2.84 ha del lote D en dirección al terreno Monte Redondo ya que el punto de evacuación de agua del sistema se encuentra en un punto de mayor elevación geográfica.
- Utilizar maquinaria para nivelar totalmente el terreno especialmente en las orillas de los drenes.
- Brindar mantenimiento de forma constante a los drenes y las calles una vez implementado el sistema de drenaje.
- Implementar un plan de manejo del suelo que permita romper el pie de arado (compactación), mejorar la porosidad y el drenaje interno del suelo.

## BIBLIOGRAFÍA

Arévalo G. y Gauggel C. 2006. Manual de laboratorio de ciencias de suelo y aguas. Ed. Pantoja JL. Centro de reproducción. Zamorano, Hn. 65 p.

Cavelaars. 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.

Cubero Fernández D. 2001. Clave del bolsillo para determinar la capacidad de uso de tierras. 1<sup>ed</sup>, San José, CR. ACCS:MAG. Areucarie. 5-6 p.

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

Durand-Dáste F, 2005. Balance hídrico (en línea). Consultado el 1 set. 2008. Disponible en [http://www.hypergeo.eu/article.php3?id\\_article=300](http://www.hypergeo.eu/article.php3?id_article=300)

Hargreaves GH y Merkle GP. 2000. Fundamentos del riego: Aireación y drenaje del suelo. Denver Colorado, US. Edit. Water Resources Publications, LLC. 24 p.

Kessler J. 1974. Criterios de Drenaje Agrícola. En: Ulzurrun, M; Castillo F; Martinez J; Cavanillas L. 1978. Principios y Aplicaciones del Drenaje. II Diseño y Manejo de los Sistemas Agrícolas. Ed. International Institute for Land and Improvement. P.O. Wageningen Holanda. 137 p.

Narro F. 2004. Física de suelos con enfoque agrícola. Ed Trillas. México. 195 p.

Pruski FF. Brandão VS. da Silva DD. 2004. Escoamento Superficial: Estimativa Do Escoamento Superficial. 2 edição. Universidade Federal de Vicosa BR. 87 p.

Villon M. 2004. Drenaje. Ed. Editorial Centro de Información Tecnológica (CII). Cartago-CR. 544 p.

## ANEXOS

Anexo 1. Finca San Nicolás, El Zamorano, Honduras, 2008.



**Anexo 2.** Evaporación de los meses de noviembre y diciembre de 1989-2007, El Zamorano, Honduras, 2008.

| Año  | Noviembre               |                          | Diciembre               |                          |
|------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|
|      | Evaporación<br>(mm/mes) | Evaporación<br>( mm/día) | Evaporación<br>(mm/mes) | Evaporación<br>( mm/día) |
| 1989 | 84.2                    | 2.7                      | 99.1                    | 3.2                      |
| 1990 | 78.3                    | 2.5                      | 95.8                    | 3.1                      |
| 1991 | 89.1                    | 2.9                      | 89.6                    | 2.9                      |
| 1992 | 51.8                    | 1.7                      | 44.2                    | 1.4                      |
| 1993 | 65.9                    | 2.1                      | 106.8                   | 3.4                      |
| 1994 | 81.7                    | 2.6                      | 116.7                   | 3.8                      |
| 1995 | 64.4                    | 2.1                      | 91.9                    | 2.9                      |
| 1996 | 83.8                    | 2.7                      | 97.6                    | 3.1                      |
| 1997 | 69.7                    | 2.2                      | 116.1                   | 3.7                      |
| 1998 | 97.9                    | 3.2                      | 97.4                    | 3.2                      |
| 1999 | 100.8                   | 3.2                      | 111.6                   | 3.6                      |
| 2000 | 109.7                   | 3.5                      | 123.5                   | 3.9                      |
| 2001 | 126.2                   | 4.1                      | 138.7                   | 4.5                      |
| 2002 | 118.9                   | 3.8                      | 120.1                   | 3.9                      |
| 2003 | 109.6                   | 3.5                      | 120.8                   | 3.9                      |
| 2004 | 109.2                   | 3.5                      | 131.7                   | 4.2                      |
| 2005 | 162.5                   | 5.2                      | 122.4                   | 3.9                      |
| 2006 | 196.9                   | 6.3                      | 163.8                   | 5.3                      |
| 2007 | 145.6                   | 4.7                      | 150.6                   | 4.9                      |

**Anexo 3.** Infiltración básica en la finca San Nicolás, El Zamorano, Honduras, 2008.

| Suelo                            | Pruebas | Infiltración (cm/hora) |            |            |
|----------------------------------|---------|------------------------|------------|------------|
|                                  |         | Cilindro A             | Cilindro B | Cilindro C |
| IVF <sup>-</sup> /F <sup>+</sup> | 6       | 0.82                   | 0.75       | -          |
|                                  | 12      | 0.69                   | 0.50       | -          |
| IIIF <sup>-</sup> /Gg            | 3       | 0.69                   | 0.66       | -          |
|                                  | 14      | 0.62                   | 0.63       | 0.63       |
| IIIF <sup>-</sup> /g             | 7       | 0.82                   | 0.77       | -          |
|                                  | 11      | 0.63                   | 0.11       | 0.28       |
| IIIg                             | 5       | 0.23                   | 0.25       | 0.26       |
|                                  | 8       | 0.31                   | 0.15       | 0.17       |
| IIIM/F <sup>+</sup>              | 9       | 0.15                   | 0.13       | 0.08       |
|                                  | 13      | 0.88                   | 0.06       | -          |

(-) = no hay datos

**Anexo 4.** Valores de coeficiente de rugosidad (n) de acuerdo con 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: Villon 2004.

**Anexo 5.** Determinación de la tasa de evaporación de los meses noviembre y diciembre a través de un promedio en la finca San Nicolás, Zamorano, Honduras, 2008.

| Año  | Noviembre             | Diciembre             |
|------|-----------------------|-----------------------|
|      | Evaporación ( mm/día) | Evaporación ( mm/día) |
| 1989 | 2.72                  | 3.20                  |
| 1990 | 2.53                  | 3.09                  |
| 1991 | 2.87                  | 2.89                  |
| 1992 | 1.67                  | 1.42                  |
| 1993 | 2.13                  | 3.43                  |
| 1994 | 2.64                  | 3.76                  |
| 1995 | 2.08                  | 2.97                  |
| 1996 | 2.70                  | 3.15                  |
| 1997 | 2.25                  | 3.74                  |
| 1998 | 3.16                  | 3.14                  |
| 1999 | 3.25                  | 3.60                  |
| 2000 | 3.54                  | 3.98                  |
| 2001 | 4.07                  | 4.47                  |
| 2002 | 3.83                  | 3.87                  |
| 2003 | 3.54                  | 3.90                  |
| 2004 | 3.52                  | 4.25                  |
| 2005 | 5.24                  | 3.95                  |
| 2006 | 6.35                  | 5.28                  |
| 2007 | 4.70                  | 4.86                  |
|      | Promedio              | 3.40                  |

**Anexo 6.** Determinación de la tasa de infiltración básica.

| Valor de infiltración (cm/hora) | Peso | Promedio |
|---------------------------------|------|----------|
| 0.06-0.50                       | 13   | 0.21     |
| 0.62-1.00                       | 12   | 0.72     |

**Anexo 7.** Lectura del nivel de agua dentro del freatómetro en la finca San Nicolás, El Zamorano, Honduras, 2008.

| Textura    | Freatómetro | lectura (cm) | Altimetría (msnm) |
|------------|-------------|--------------|-------------------|
| F-/F+/Gg   | 1A          | N            | 773.119           |
| F-/g/Gg    | 2A          | 75           | 773.000           |
| F-/M/F-/Gg | 1B          | N            | 776.891           |
| M/g        | 2B          | N            | 775.000           |
| M/g/Gg     | 3B          | N            | 773.177           |
| F-/F+      | 4B          | N            | 771.994           |
| F-/M/g/Gg  | 5B          | 69           | 770.297           |
| F-/g/M/g   | 1C          | N            | 777.406           |
| M/F-/g/F+  | 2C          | 40           | 775.894           |
| F-/F+      | 3C          | N            | 773.492           |
| F-/F+      | 4C          | 52           | 771.500           |
| M/F+       | 5C          | N            | 769.000           |
| M/F-/g/F+  | 1D          | 91.5         | 777.000           |
| F-/F+      | 2D          | 77           | 775.000           |
| F-/M/F-/Gg | 3D          | 62           | 773.000           |
| F-/F+      | 4D          | 28           | 771.012           |
| F-/F+      | 5D          | 57           | 768.896           |
| M/F-/M/g   | 1E          | N            | 777.509           |
| F-/M/F+/Gg | 2E          | N            | 774.940           |
| M/g/Gg     | 3E          | N            | 772.596           |
| F-/M/g/F+  | 4E          | 118          | 770.368           |
| F-/F+      | 5E          | N            | 769.000           |
| M/F+       | 1F          | N            | 774.890           |
| F-/F+/Gg   | 2F          | N            | 772.139           |
| F-/F+      | 3F          | N            | 770.620           |

N= no se encontró agua

**Anexo 8.** Resultados de la conductividad hidráulica en la finca de San Nicolás, El Zamorano, Honduras. 2008.

| Freatímetro | Suelo                            | Conductividad hidráulica (cm/h) |
|-------------|----------------------------------|---------------------------------|
| 1A          | IVF <sup>-</sup> /F <sup>+</sup> | 4.780                           |
| 2A          | IIIF <sup>-</sup> /Gg            | 8.580                           |
| 1B          | IIIF <sup>-</sup> /g             | 29.090                          |
| 2B          | IIIM/F <sup>+</sup>              | 9.810                           |
| 3B          | IIIM/F <sup>+</sup>              | 22.190                          |
| 4B          | IIIF <sup>-</sup> /g             | 25.550                          |
| 5B          | IIIF <sup>-</sup> /Gg            | 0.530                           |
| 1C          | IIIF <sup>-</sup> /g             | 21.900                          |
| 2C          | IVF <sup>-</sup> /F <sup>+</sup> | 7.760                           |
| 3C          | IVF <sup>-</sup> /F <sup>+</sup> | 14.020                          |
| 4C          | IVF <sup>-</sup> /F <sup>+</sup> | 0.050                           |
| 5C          | IIIg                             | 3.680                           |
| 1D          | IIIg                             | 26.280                          |
| 2D          | IVF <sup>-</sup> /F <sup>+</sup> | 7.880                           |
| 3D          | IIIF <sup>-</sup> /g             | 0.058                           |
| 4D          | IVF <sup>-</sup> /F <sup>+</sup> | 0.068                           |
| 5D          | IVF <sup>-</sup> /F <sup>+</sup> | 2.530                           |
| 1E          | IIIg                             | 9.960                           |
| 2E          | IIIF <sup>-</sup> /g             | 4.060                           |
| 3E          | IIIM/F <sup>+</sup>              | 0.920                           |
| 4E          | IIIF <sup>-</sup> /g             | 0.170                           |
| 5E          | IVF <sup>-</sup> /F <sup>+</sup> | 32.770                          |
| 1F          | IIIg                             | 31.830                          |
| 2F          | IVF <sup>-</sup> /F <sup>+</sup> | 4.500                           |

**Anexo 9.** 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: Villon 2004

**Anexo 10.** Georeferencia de las coordenadas de los drenes de la Finca San Nicolás, El Zamorano, Honduras, 2008.

| Dren      | Georeferencia |             |             |             |
|-----------|---------------|-------------|-------------|-------------|
| Q1        | 16 P 499690   | 16 P 499664 | 16 P 499457 |             |
|           | UTM 1547210   | UTM 1547197 | UTM 1546861 |             |
| Q2        | 16 P 499666   | 16 P 494620 | 16 P 499486 |             |
|           | UTM 1547228   | UTM 1547631 | UTM 1547572 |             |
| Q3        | 16 P 499798   | 16 P 499547 |             |             |
|           | UTM 1547165   | UTM 1546827 |             |             |
| Q4        | 16 P 499836   | 16 P 499743 | 16 P 499699 |             |
|           | UTM 1547610   | UTM 1547610 | UTM 1547613 |             |
| Q5        | 16 P 499997   | 16 P 499702 |             |             |
|           | UTM 1547088   | UTM 1546811 |             |             |
| Q6        | 16 P 50010    | 16 P 499937 | 16 P 499873 |             |
|           | UTM 1547092   | UTM 1547518 | UTM 1547560 |             |
| Q7        | 16 P 500047   | 16 P 499978 | 16 P 499862 | 16 P 499790 |
|           | UTM 1547071   | UTM 1546966 | UTM 1546830 | UTM 1546830 |
|           | 16 P 499666   | 16 P 500047 | 16 P 500045 | 16 P 500085 |
| Principal | UTM 1547217   | UTM 1547071 | UTM 154658  | UTM 1546852 |