

**Diseño del sistema de drenaje y  
determinación del costo de implementación  
en Monte Redondo, Zamorano, Honduras**

**German Gerardo Rodríguez Márquez**

**ZAMORANO**

Carrera de Ciencia y Producción Agropecuaria

Noviembre, 2006

# **Diseño del sistema de drenaje y determinación del costo de implementación en Monte Redondo, Zamorano, Honduras**

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

Presentado por:

**German Gerardo Rodríguez Márquez**

**Zamorano, Honduras**

Noviembre, 2006

El autor concede a Zamorano permiso  
para reproducir y distribuir copias de este  
trabajo para fines educativos. Para otras personas  
físicas o jurídicas se reservan los derechos de autor.

---

German Gerardo Rodríguez Márquez

**Zamorano, Honduras**

Noviembre, 2006

## **Diseño del sistema de drenaje y determinación del costo de implementación en Monte Redondo, Zamorano, Honduras.**

Presentada por:

German Gerardo Rodríguez Márquez

Aprobada:

---

Gloria Arévalo de Gauggel, M.Sc.  
Asesor Principal

---

Alfredo Rueda, Ph.D.  
Coordinador Área Temática  
Fitotecnia

---

Odilo Duarte, Dr. Sci. Agr.  
Asesor

---

Abelino Pitty, Ph.D  
Director Interino Carrera de  
Ciencia y Producción  
Agropecuaria

---

Ing. Francisco Álvarez, MAE.  
Asesor

---

George Pilz, Ph.D  
Decano Académico

---

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

## **AGRADECIMIENTOS**

A DIOS por haberme guiado y darme esta oportunidad.

A mis padres, mi hermano, mis abuelos y toda mi familia por su cariño y apoyo incondicional.

A la Ing. Gloria Arévalo de Gauggel por brindarme su amistad, apoyo, paciencia y conocimientos.

Al Ing. Francisco Álvarez por todo el apoyo y conocimiento brindado.

Al Dr. Odilo Duarte por su apoyo y conocimientos.

A Linda Estelí Méndez por estar en cada paso junto a mí.

A todos mis amigos por su apoyo y cariño.

A los Ingenieros Santos Damas, Carlos Quiroz y demás personas que colaboraron e hicieron posible el desarrollo de este estudio.

## RESUMEN

Rodríguez, German. 2006. Diseño del sistema de drenaje y determinación del costo de implementación en Monte Redondo, Zamorano, Honduras. Proyecto especial para optar al título de Ingeniero Agrónomo, Zamorano, Honduras. 44p.

Este estudio estuvo orientado a la adecuación de la vega # 1, 2, y 3 de Monte Redondo, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras, con un área de 9.54 ha divididas en dos lotes de 3.05 ha y 6.03 ha, respectivamente. El estudio se inició con la identificación del área afectada por problemas de drenaje mediante observación, recopilación de información histórica y registros de lluvias e inundación proporcionados por la unidad de riegos y drenajes y la Empresa Universitaria de cultivos extensivos. Se procedió a la descripción de las propiedades físicas del suelo, mediante barrenaciones espaciadas en una cuadrícula cada (48 × 36 m Vega 1 y 55 × 52 m Vega 2 y 3), a una profundidad de 1.20 m, en las cuales se identificaron: profundidad de estratos, color, textura, cantidad y posición de los moteos que indican mal drenaje. Posteriormente se delimitó el área de la zona con GPS y con la estación total se determinó la altimetría del terreno. El análisis de datos climatológicos consistió en la evaluación de precipitación máxima, período de recurrencia y balance hídrico de 20 años registrados. Se instalaron freáticos en cada una de las barrenaciones y en ellos se realizaron las medidas de conductividad hidráulica. El mapa topográfico se elaboró con el programa SURFER donde se estableció la altimetría de cada barrenación georeferenciada a una cota. Con esta información se construyeron mapas de isóbatas, isohypsas y dirección de flujo interno del agua para determinar la posición de los drenes. Con la conductividad hidráulica se determinó el espaciamiento de los mismos y con la descripción estratigráfica la profundidad. Se concluyó que para la vega 1 debe construirse un dren colector de 250 m. de longitud y un dren secundario de 150 m; para la vega 2 y 3 se determinó un dren colector de 430 m, cuatro drenes secundarios de 120 m. y seis drenes secundarios de 80 m. de longitud. Los drenes colectores a una profundidad de 1 m, mientras que los secundarios 0.70 m, los drenes colectores deben tener un ancho de boca de 2.4 m. y su base 1.2 m, los drenes secundarios deben tener 1.2 m. ancho de boca y 0.8 m. su base. Con la construcción de dichos drenes se busca corregir los problemas de drenaje subsuperficiales encontrados, se removerán 2056.5 m<sup>3</sup> de tierra y el área que ocuparán será del 3.10% del área total. La construcción del sistema de drenaje tiene un costo de \$ 1,948.26

**Palabras clave:** Canales de drenaje, líneas de flujo, nivel freático.

## CONTENIDO

Portada .....	i
Portadilla.....	ii
Autoría .....	iii
Página de firmas .....	iv
Agradecimientos.....	v
Resumen .....	vi
Contenido .....	vii
Índice de Figuras .....	ix
Índice de Cuadros.....	xi
Índice de Anexos.....	xii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MATERIALES Y MÉTODOS .....	3
2.1 ÁREA DE ESTUDIO .....	3
2.2 CLIMATOLOGÍA.....	3
2.2.1 Precipitación extrema .....	3
2.2.2 Balances hídricos .....	4
2.3 SUELOS .....	4
2.4 DRENAJE.....	6
2.4.1 Instalación de red de pozos de observación de nivel freático (Freatímetros) .....	6
2.4.2 Topografía.....	7
2.4.3 Conductividad Hidráulica .....	7
2.4.4 Mapas de isóbatas, isohypsas y líneas de flujo .....	9
2.4.5 Diagnóstico del problema .....	9
2.4.6 Solución al problema de drenaje .....	9
2.4.7 Diseño del sistema de drenaje .....	11
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	12
3.1 CLIMATOLOGÍA.....	12
3.1.1 Precipitación extrema .....	12
3.1.2 Balance hídrico.....	12
3.2 SUELOS .....	13
3.3 DRENAJE.....	16
3.3.1 Topografía.....	16
3.3.2 Freatimetría.....	17
3.3.3 Conductividad hidráulica .....	18
3.3.4 Isóbatas e isohypsas.....	19

3.3.5 Diagnóstico del problema de drenaje .....	22
3.3.6 Solución al problema de drenaje .....	22
3.3.7 Costo de implementación del sistema de drenaje.....	24
4. CONCLUSIONES .....	24
5. RECOMENDACIONES .....	25
6. BIBLIOGRAFÍA .....	26
7. ANEXOS.....	27

## ÍNDICE DE FIGURAS

### Figura

Figura 1. Red de barrenaciones y freaticómetros en la vega 1, 2 y 3, Monte Redondo, Zamorano, Honduras, 2006. ....	5
Figura 2. Ejemplo de un freaticómetro y su forma de instalación. ....	7
Figura 3. Ejemplo de un conductómetro. ....	8
Figura 4. Componentes de la fórmula de Auger Hole. ....	8
Figura 5. Componentes de la fórmula de Hooghoudt. ....	10
Figura 6. Gráfica del balance hídrico mensual para los años del año 2005 con respecto al balance hídrico promedio de 1999 al 2005, en la vega 1, 2 y 3, Monte Redondo, Zamorano, Honduras, 2006. ....	13
Figura 7. Distribución de clases texturales en la vega 1, 2 y 3, Monte Redondo, Zamorano, Honduras, 2006. ....	14
Figura 8. Mapa de perfiles estratigráficos de la vega 1, 2 y 3, Monte Redondo, Zamorano, Honduras, 2006. ....	16
Figura 9. Muestra el mapa de relieve del área de estudio de la vega 1, 2 y 3, Monte Redondo, Zamorano, Honduras, 2006. ....	17
Figura 9. Mapa de curvas de nivel de la vega 1, 2 y 3, Monte Redondo, Zamorano, Honduras, 2006. ....	17
Figura 11. Zonas correspondientes a cada conductividad hidráulica de la vega 1, 2 y 3, Monte Redondo, Zamorano, Honduras, 2006. ....	18
Figura 12. Mapa de isóbatas de la vega 1, 2 y 3, Monte Redondo, Zamorano, Honduras 2006. ....	20
Figura 13. Mapa de isóbatas de la vega 1, 2 y 3, Monte Redondo, Zamorano, Honduras, 2006. ....	21
Figura 14. Mapa de Isohypsas de la vega 1, 2 y 3, Monte Redondo, Zamorano, Honduras, 2006. ....	21
Figura 15. Mapa de líneas de flujo del agua en la vega 1, 2 y 3, Monte Redondo, Zamorano, Honduras, 2006. ....	22

Figura 16. Dimensión en metros correspondiente al dren colector principal y a los drenes secundarios propuestos para la vega 1, 2 y 3, Monte Redondo, Zamorano, Honduras, 2006. ....	23
Figura 17. Diseño del sistema de drenaje a implementar en la vega 1, 2 y 3, Monte Redondo, Zamorano, Honduras, 2006. ....	24

## ÍNDICE DE CUADROS

### Cuadro

1. Periodos de retorno y su probabilidad, 2005.....	4
2. Agrupación de la clasificación de los distintos tipos de suelos de la vega 1, 2 y 3, Monte Redondo, Zamorano, Honduras, 2006. ....	14
3. Clasificación de los suelos según lote y barrenación de la vega 1, 2 y 3 Monte Redondo, Zamorano, Honduras, 2006.....	15
4. Conductividades hidráulicas según clase de suelo en la vega 1, 2 y 3 Monte Redondo, Zamorano, Honduras, 2006.....	19
5. Conductividad hidráulica de cada frentímetro en la vega 1, 2 y 3 Monte Redondo, Zamorano, Honduras, 2006.....	19
6. Dimensiones y espaciamentos propuestos para los drenes de la vega 1, 2 y 3, Monte Redondo, Zamorano, Honduras, 2006. ....	23
7. Costo del sistema de drenaje por metro cúbico, 2006. ....	24

## ÍNDICE DE ANEXOS

### **Anexo**

1. Descripción de las propiedades físicas del suelo de acuerdo a cada barrenación.....	27
2. Altimetría de los freáticos. ....	31
3. Perfiles estratigráficos del terreno que muestran la profundidad de estratos y de los moteos.....	32
4. Datos de conductividad hidráulica.....	35

# 1. INTRODUCCIÓN

Debido a la creciente población y la alta demanda de alimento consiguiente, las áreas destinadas a la agricultura han sido reducidas obligando a esta actividad a ser más eficiente en cuanto a calidad y cantidad en la producción de alimentos con ayuda de la tecnología. Es por esto que la agricultura se ha movido a lugares menos favorables con limitantes físicas y/o climáticas donde se requiere su adecuación para proveer así condiciones óptimas (Dieleman 2000).

La producción de cultivos bajo condiciones óptimas requiere un ambiente edáfico adecuado para la planta, el que a su vez depende del régimen hídrico, aireación, nivel de salinidad y fertilidad del suelo. El control de la humedad para proporcionar el ambiente adecuado a los cultivos y mantener la relación agua-suelo adecuada para cumplir sus requerimientos hídricos es uno de los factores determinantes en una buena producción (Arévalo y Araujo 1984).

Teniendo en cuenta estas consideraciones, es conveniente establecer una técnica que tenga por objeto la evacuación de aguas excedentes que saturan el suelo o se estancan en la superficie, de tal manera que una parcela quede apta para implantar y desarrollar un cultivo. Esto se logra con el drenaje agrícola que permite una mejor aireación del suelo, modifica la constitución física de las tierras, favorece la nitrificación, asegura la penetración más profunda de las raíces de las plantas en el suelo para un mejor aprovechamiento de los nutrientes y permite la remoción de sales en el suelo evitando desbalances por acumulación de sales y/o sodio (Arévalo y Araujo 1984).

Los drenajes han hecho posible el desarrollo de la agricultura en la mayoría de las tierras más productivas de los Estados Unidos, en donde se mejoraron las condiciones aproximadamente a 92 millones de acres (Ralph 1971).

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

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

Como objetivo general de este estudio se tuvo diseñar un sistema de drenaje con criterios técnicos y análisis de costos para su implementación y los objetivos específicos fueron evaluar la profundidad del nivel freático en la época de lluvias y caracterizar las propiedades físicas del suelo, parámetros hidrodinámicos, determinar la conductividad hidráulica, elaborar mapas de curvas de nivel, isobatas, isohypsas y líneas de flujo, realizar el diseño del sistema de drenajes y determinar el costo de implementación del sistema de drenaje.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 ÁREA DE ESTUDIO

El estudio se llevó a cabo en la vega 1, 2, y 3 de Monte Redondo, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. El lugar tiene una altura de 753 msnm, una precipitación promedio anual de (1100 mm año<sup>-1</sup>) y una temperatura promedio anual de (25° C).

Para dicho estudio se destinó un área de 9.54 hectáreas, divididas en dos lotes, de 3.05 y 6.03 hectáreas. Actualmente dichos lotes se encuentran cultivados con plátano y papayo.

### 2.2 CLIMATOLOGÍA

La Universidad cuenta con una estación climatológica en la terraza de agronomía de la cual se tomaron los datos registrados de precipitación y evapotranspiración de los últimos 20 años los cuales fueron sometidos a los análisis correspondientes.

#### 2.2.1 Precipitación extrema

El período de retorno utilizado en estudios de drenajes es de dos a cinco años siendo estos determinados según las condiciones económicas. En este tipo de estudios es importante establecer el periodo de precipitaciones máximas anuales, su frecuencia y periodo de retorno porque este junto a factores económicos determinará el tamaño y tipo de construcción. El análisis de frecuencia es una herramienta utilizada para predecir el comportamiento futuro de las lluvias en un sitio de interés, a partir de información histórica. Es un método basado en procedimientos estadísticos que permite calcular la magnitud de la precipitación asociada a un período de retorno. Su confiabilidad depende de la magnitud y calidad de la serie histórica de datos (Ashkar, *et al.* 1994).

La precipitación extrema y su periodo de retorno se determinó mediante el método probabilístico Log Pearson tipo III<sup>1</sup>, 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).

Este análisis fue tomado de un estudio realizado por el ingeniero Carlos Quiroz de la unidad Ecozamorano, que se efectuó con el programa de predicciones estadísticas “Distribution Analysis System” y los datos utilizados fueron los registros de 20 años

atrás los cuales se obtuvieron de la base de datos del Fondo Hondureño de Inversión Social (FHIS) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Períodos de retorno y su probabilidad de oscurecían para las precipitaciones de la vega 1, 2 y 3 de Monte Redondo, Zamorano, Honduras, 2005.

Probabilidad (%)	Periodo de Retorno (años)	Predicción de precipitación (mm/h)	Desviación Standard
0.50	2.00	71.930	5.730
1.00	3.00	84.640	7.200
2.00	5.00	99.930	9.600
4.00	10.0	120.97	14.88
10.0	25.0	150.55	26.45
20.0	50.0	174.89	39.14
33.3	100.0	201.30	55.72
50.0	200.0	230.08	76.79

Tomado de Quiroz 2005. Información personal

### 2.2.2 Balance hídrico

El balance hídrico se establece para un lugar y un período de tiempo dado, por comparación entre los aportes de agua que se efectúan por las precipitaciones y las pérdidas se deben evapotranspiración (Durand-Dastés 2005).

Con los datos obtenidos en la estación climatológica de la terraza de agronomía se realizó el análisis del balance hídrico de la zona tomando en cuenta el registro de seis años atrás, con estos se obtuvieron los promedios mensuales de precipitación y evapotranspiración desde 1999 hasta el 2005. Estos reportan las épocas de mayor precipitación y mayor evapotranspiración los cuales reflejan los lapsos de déficit o exceso de agua. Para el balance hídrico se tomaron los datos de precipitación de año 2005 que fue el de mayor lluvia.

### 2.3 SUELOS

Para la descripción de las propiedades físicas del suelo se utilizaron las barrenaciones espaciadas en una cuadrícula cada (48 × 36 m en el lote 1 y 55 × 52 m en el lote 2), a una

profundidad de 1.20 m, en las cuales se identificaron: profundidad de estratos (horizontes), color y textura. Posteriormente se realizaron ocho barrenaciones a una profundidad de cuatro metros con el fin de identificar la posición y profundidad de la capa impermeable, sumando un total de 48 barrenaciones (Figura 1).

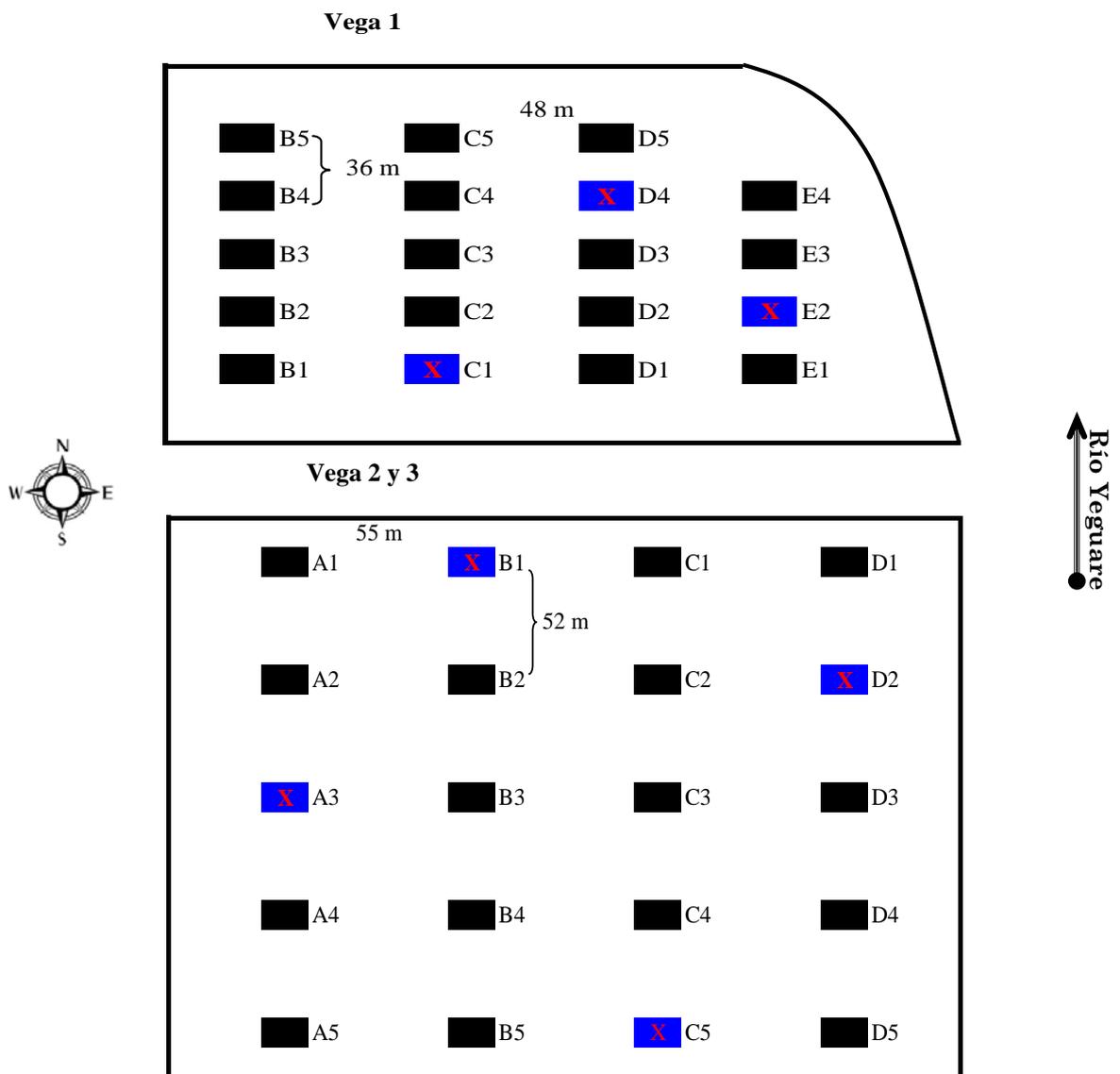


Figura 1. Red de barrenaciones y freaticómetros en la vega 1, 2 y 3, Monte Redondo, Zamorano, Honduras, 2006.

X = Muestra los lugares de barrenaciones a cuatro metros de profundidad y los freáticos donde se midió la conductividad hidráulica.

Con las barrenaciones se logró definir las texturas del suelo hasta una profundidad de 1.20 m, con esta información se clasificaron las clases texturales de los suelos, con la cual se elaboró un mapa que identifica la distribución y agrupación de estos sobre el terreno, esta clasificación agrupa cinco clases las cuales se establecieron según presentan las mismas o similares características texturales.

La posición de la capa impermeable se estableció a través de los diagramas de perfiles estratigráficos que indican la posición y comportamiento de cada estrato, así como de la capa freática. Con la ayuda de este diagrama se identificó la ubicación de los moteos que señalan la zona de influencia de mal drenaje. Luego se hicieron barrenaciones a cuatro metros de profundidad para identificar la capa impermeable, la cual no se encontró.

## **2.4 DRENAJE**

El drenaje de tierras agrícolas se refiere a un conjunto de técnicas que permiten evacuar a una velocidad adecuada el agua en exceso de la superficie o del interior del suelo, para prevenir daños a las plantas y mantener favorables las condiciones físicas y mecánicas del suelo (Pizarro 1978).

Este mismo autor menciona que la remoción del agua libre que tiende a acumularse en la superficie del suelo especialmente en las zonas llanas, bajas y en las depresiones, se denomina drenaje superficial; este se realiza por nivelación de tierras y la construcción de canales y surcos que conducen los excesos de agua hasta un conducto de evacuación.

El drenaje subterráneo o subsuperficial se refiere al flujo natural o inducido del exceso de agua que por diversas causas se ha acumulado dentro del suelo; Las técnicas usadas para corregir este nivel alto de la capa freática es la construcción de canales profundos o la instalación de tubería interna (Hernández 1991).

### **2.4.1 Instalación de red de pozos de observación de nivel freático (Freatímetros)**

Los freáticos consisten en un tubo PVC, en este caso de 1.20 m de largo y 5.08 cm (2 pulgadas) de ancho, perforado con agujeros hasta la mitad, los cuales una vez instalados permiten el paso del agua a través del tubo hacia y desde el suelo y así medir la altura de la capa freática y la conductividad hidráulica (Figura 2). Se instaló un freático en cada una de las barrenaciones, realizadas para la identificación del suelo, para formar así una red de pozos de observación (Figura 1).

El estudio comenzó determinando el área afectada por problemas de drenaje, este se llevó a cabo por medio de observación, recopilación de información histórica, registros de lluvias e inundaciones obtenidas por la unidad de riego y revisión de mapas de curvas de nivel.

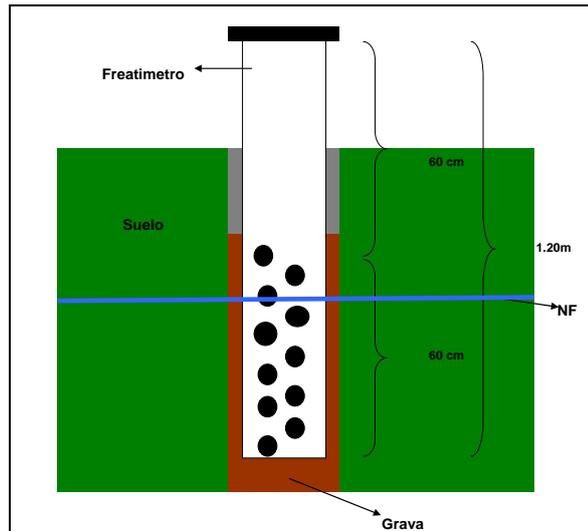


Figura 2. Ejemplo de un frentímetro en el cual se midió el nivel freático y la conductividad hidráulica.

Una vez instalada la red de frentímetros se procedió al registro de la posición del nivel freático en cada uno de ellos leyendo dos veces por semana durante el período de lluvia (mayo a septiembre, 2006).

#### 2.4.2 Topografía

El área y perímetro donde se realizó el estudio se midió con GPS (Global Position System), luego se georeferenció la red de barrenaciones y frentímetros con la estación total y de esta manera se obtuvo la altimetría de cada uno de estos puntos, los cuales se utilizaron para la elaboración de mapas de curvas de nivel, isóbatas, isohypsas y líneas de flujo, con la ayuda del programa SURFER.

#### 2.4.3 Conductividad Hidráulica

La conductividad hidráulica se determinó en cada frentímetro por el método del pozo invertido (Dieleman 2000); este método consiste en llenar con agua los frentímetros hasta el nivel del suelo luego medir el tiempo de infiltración o descarga, para realizar estas medidas se fabricó un conductómetro que consiste en una estructura de madera en forma de T, que en el extremo superior lleva una polea con un flotador y en su cara contigua una cinta métrica (Figura 3). Se hicieron dos tomas de datos la primera con el suelo seco y la siguiente con el suelo húmedo después de una precipitación. La medida de la conductividad hidráulica se realizó en ocho pozos de observación. Luego los datos de conductividad hidráulica bajo las condiciones húmedas fueron calculados por el método inverso del Auger Hole (Hernández 1971). Dicha fórmula se basa en la Figura 3 y se calculó con la fórmula 1.

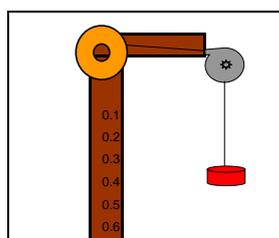


Figura 3. Ejemplo de un conductómetro que se utilizó para medir la conductividad hidráulica.

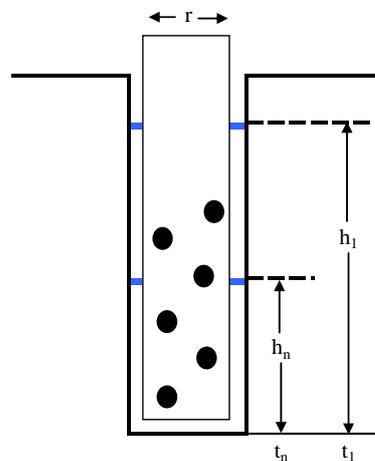


Figura 4. Componentes de la fórmula de Auger Hole, utilizada para el cálculo de la conductividad hidráulica.

En donde:

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

Siendo:

$k$  = Conductividad hidráulica

$r$  = El radio del freatómetro (5.02 cm)

$h_1$  = Altura inicial

$h_n$  = Altura final

$t_1$  = Tiempo inicial

$t_2$  = Tiempo final

#### 2.4.4 Mapas de isóbatas, isohypsas y líneas de flujo

El mapa de isóbatas consiste en la representación de las profundidades de los niveles freáticos respecto al nivel del suelo y ala cota del nivel freático; el mapa de isohypsas representa la cota del nivel freático la dirección de flujo, gradiente hidráulico, área de recarga y descarga se determinan a partir del mapa de Isohypsas como las líneas perpendiculares a las curvas a cotadas del nivel freático. Con este mapa se determinó la posición de la red de drenaje. Estos mapas se crearon con ayuda del programa SURFER. Debido a la escasa precipitación en el tiempo de toma de datos la altura del nivel freático no pudo ser determinada y para la construcción de estos mapas se tomó como base la altura del estrato del suelo que presentó moteos.

#### 2.4.5 Diagnóstico del problema

La evaluación del drenaje subsuperficial se llevó acabo a partir de la información encontrada y consignada en los planos de isóbatas, isohypsas, líneas de flujo, descripción del perfil del suelo (Anexo 1), perfiles estratigráficos (Anexo 3) y medida de la conductividad hidráulica (Anexo 4).

El mapa de isóbatas determina las áreas con problemas de drenaje, el de isohypsas y líneas de flujo determinan la posición del colector principal ya que muestran las zonas de recarga, descarga, alturas, profundidades dirección de flujo y gradiente hidráulico. El mapa de perfiles estratigráficos se utilizó para determinar la posición de la capa impermeable así como su comportamiento a los largo del terreno y dentro de las distintas clases de suelos identificadas. El mapa de líneas de flujo indica el recorrido natural del agua por consiguiente a partir de el se establece la ubicación de la red de drenes.

#### 2.4.6 Solución al problema de drenaje

El cálculo del espaciamiento y profundidad de los drenes fue realizado utilizando la fórmula de Hooghoudt (Hernández 1991), con la cual se pretende una descarga continua y uniforme para mantener el nivel freático a una máxima altura permisible en el punto medio entre los drenes. Dicha fórmula calcula el espaciamiento entre drenes para una precipitación uniforme y una capa impermeable media, esta se basa en la Figura 5:

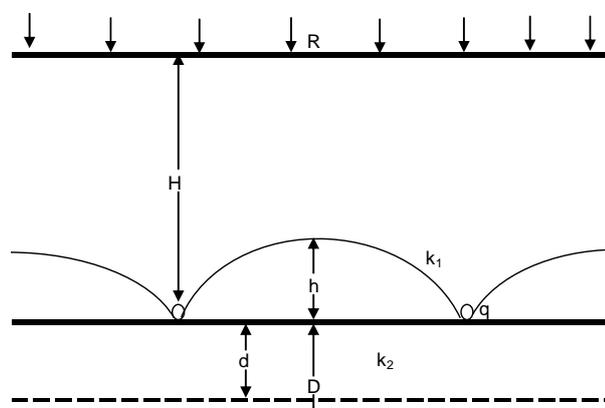


Figura 5. Componentes de la fórmula de Hooghoudt, utilizada para el cálculo del espaciamiento y profundidad de los drenes.

En donde:

$$L^2 = \frac{8k_2 hd}{q} + \frac{4k_1 h^2}{q} \quad \text{Fórmula (2)}$$

Siendo:

L = Espaciamiento entre drenes, en metros.

q = Coeficiente de drenaje (m/día) (1.26 m/día)

$k_2$  = Conductividad hidráulica de la capa bajo los drenes (m/día).

$k_1$  = Conductividad hidráulica de la capa por encima de los drenes (m/día).

h = Altura nivel freático por encima del dren y en mitad de la separación entre ellos, en metros.

d = Espesor equivalente a Hooghoudt, que depende de L, D, y u. Tomado de un nomograma de Pizarro (1978).

En este caso se utilizó la misma conductividad hidráulica (k) para  $k_1$  y  $k_2$ .

Donde:

u = Perímetro húmedo del dren.

D = Distancia entre la capa impermeable y los drenes.

El coeficiente de drenaje (q) se refiere al total del agua que se debe remover en un periodo de 24 horas y para su determinación se utilizó la siguiente fórmula para áreas bajo irrigación. La ecuación es la siguiente:

$$q = \frac{\frac{P+C}{100} i}{24F} \quad \text{Fórmula (3)}$$

En donde:

q = Coeficiente de drenaje o descarga de dren, expresado en (m/día).

P = Percolación de irrigación incluyendo requerimiento de lavado, en porcentaje. (20%)

C= Pérdida por conducción en canales, en porcentaje. (30%)

i = Lámina de riego aplicada, en metros. (0.03 m)

F = Frecuencia de irrigación en días. (3.25)

#### **2.4.7 Diseño del sistema de drenaje**

Una vez determinada la dirección de flujo se diseñó la posición del canal colector principal dentro del lote. La profundidad de este canal se estableció con base en la capa impermeable o estrato arcilloso identificado durante las barrenaciones, la longitud del mismo depende del recorrido a través del lote y el talud de la magnitud de recarga, la velocidad máxima permisible y el tipo de suelo.

El espaciamiento entre canales secundarios y terciarios depende del tipo de suelo, conductividad hidráulica y la condición estratigráfica. Mientras que la disposición depende del arreglo del cultivo y de la ubicación del sistema de riego. Las dimensiones de los drenes se establecieron según las recomendadas por Hernández 1991.

Los costos del sistema de drenaje dependen de la técnica utilizada para su construcción, área del canal colector, longitud, número y tamaño de canales secundarios.

## **3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **3.1 CLIMATOLOGÍA**

A partir de los registros climatológicos de precipitación y evapotranspiración obtenidos en la estación de la terraza de agronomía y de la base de datos del FHIS se realizaron una serie de análisis de precipitación extrema y balance hídrico requeridos para el desarrollo de este estudio.

#### **3.1.1 Precipitación extrema**

Luego de analizar los datos por el método Log Pearson Tipo III, para el periodo de retorno elegido existe una probabilidad de que cada tres años una precipitación mayor o igual a 84.64 mm supere las dimensiones de la construcción, estos datos se tomaron del Cuadro 1. Teniendo en cuenta que el tamaño de la construcción depende del periodo de retorno de una precipitación máxima y la selección de este periodo de retorno obedece a las condiciones económicas es importante realizar un análisis detallado para la mejor elección y diseño del sistema de drenes.

#### **3.1.2. Balance hídrico**

Del balance hídrico se identificó que los períodos de déficit de agua que van de noviembre a abril y los períodos de lluvia que se encuentran en los meses de mayo a octubre, dentro del período de lluvias los meses con mayores precipitaciones son septiembre y mayo y los meses más secos corresponden a enero y diciembre. Se observa que en el período de lluvias en el mes agosto ocurre una canícula o período seco en el cual la evapotranspiración supera a la precipitación.

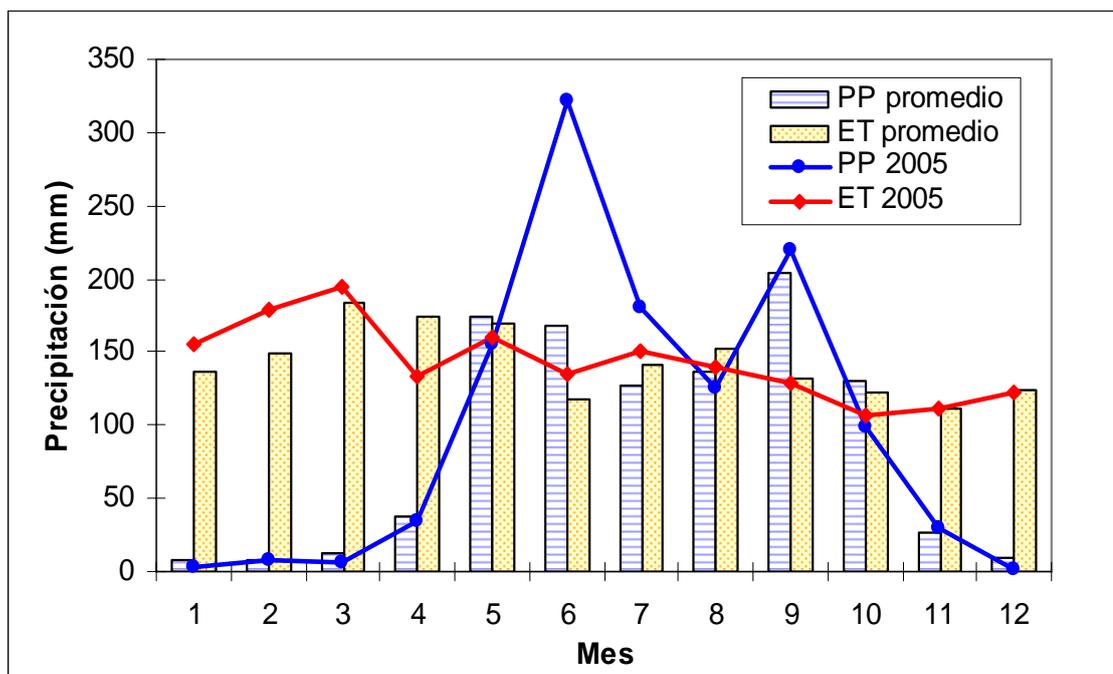


Figura 6. Gráfica del balance hídrico mensual para los años del año 2005 con respecto al balance hídrico promedio de 1999 al 2005, en la vega 1, 2 y 3, Monte Redondo, Zamorano, Honduras.

PP: Precipitación; ET: Evapotranspiración.

### 3.2 SUELOS

Como resultado de la clasificación de suelos se tuvieron cinco clases, las cuales se agruparon de acuerdo a características similares, estas clases son las siguientes:

Clase 1: suelos de texturas francas a gruesas.

Clase 2: suelos de texturas francas a gruesas (estrato superior) sobre texturas francas finas (estrato inferior). Siendo esta la capa impermeable o limitante.

Clase 3: texturas francas finas (estrato superior) sobre texturas francas gruesas (estrato inferior).

Clase 4: texturas finas y medias sobre texturas arenosas o francas (estrato medio) sobre arcilla muy fina (estrato inferior).

Clase 5: texturas finas y muy finas.

Se puede observar que las clases con texturas gruesas se encuentran ubicadas en los bordes y partes altas, estas representan una menor área del terreno. Las clases con texturas finas, medias y texturas en transición se encuentran en la parte media, partes bajas y planas siendo estas las que ocupan mayor parte del terreno y las que presenta problemas de drenaje (Figura 7).

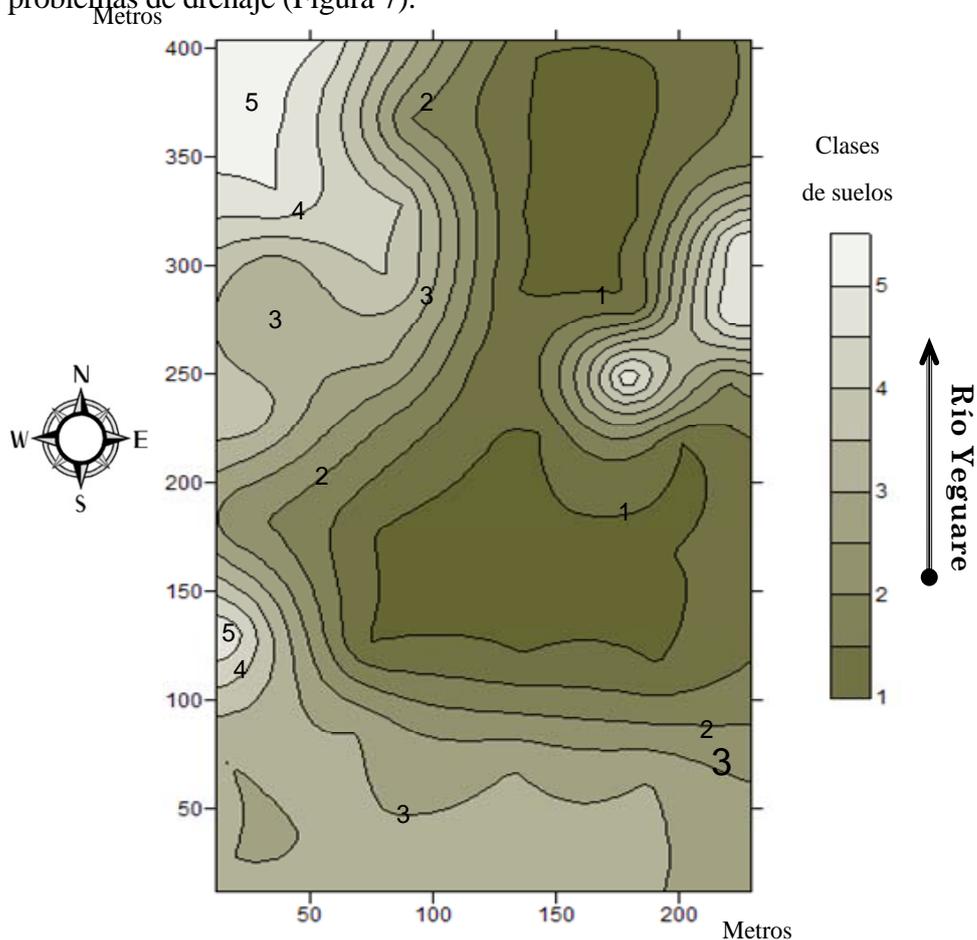


Figura 7. Distribución de clases texturales en la vega 1, 2 y 3, Monte Redondo, Zamorano, Honduras, 2006.

Cuadro 2. Clases de suelos y el área correspondiente a cada una de ellas en la vega 1, 2 y 3, Monte Redondo, El Zamorano, Honduras, 2006.

Clase	Área (ha)	Porcentaje
1	4.293	45
2	2.385	10
3	1.431	25
4	0.954	15
5	0.477	5

M = Texturas francas (franco limosos, franco arenoso y franco)

F- = Texturas con arcillas livianas (franco arcilloso, franco arcillo limoso, franco arcillo arenoso)

F+= Texturas con arcillas pesadas (arcilloso, arcillo limoso, arcillo arenoso)

Gg = piedra y grava

g = arena y arena gruesa.

Cuadro 3. Clasificación de los suelos según lote y barrenación de la vega 1, 2 y 3, Monte Redondo, El Zamorano, Honduras, 2006.

Barrenación	1	2	3	4	5
L1A	F-	F-	F+/F+/(Gg)	F+/F+/(F-)	F+
L1B	F-/g/M	F-/g/F+	F-/M/F+	M/g(F-)	F-/g
L1C	M	M/g(M)	M/g	M/g	M/(g)/g/(M)
L1D	M/(F+)/M/(g)	M/g	g/M	g/M	g/M
L1E	g(M)/F-	F+/M	F+/M	g/F-	
L2A	M/(F-)/M/(F+)	M/F-	F-/F+/F-/G	F-/M	F-
L2B	M/(F-)/M	M	M	F-	F-
L2C	M	M	M	F-	F-
L2D	M	M/g	M/g	F-/M	F-/M

\* L1: Lote 1 y L2: Lote 2

Mediante la evaluación de los diagramas de perfiles estratigráficos se identificó la posición de los moteos en cada barrenación, esta posición mostró el estrato con moteos predominante dentro del terreno y su altura. Siendo los suelos que presentaban más texturas francas a gruesas sobre texturas francas finas (clase 2) las que contenían moteos; esto indica que en esta zona hay mayor acumulación y retención de agua por lo tanto menos oxigenación. Esta zona fue localizada a 0.70 metros promedio en todo el terreno.

La Figura 8 muestra unos de los cortes estratigráficos de la vega 1 en el sentido W-E y la posición altimétrica de cada barrenación. En ella se indica la posición de los moteos en el suelo y la altura real de cada uno respecto al río, en el anexo 3 se detallan todos los cortes estratigráficos de las vegas. La posición de cada corte esta referida según la nomenclatura utilizada en la Figura 1.

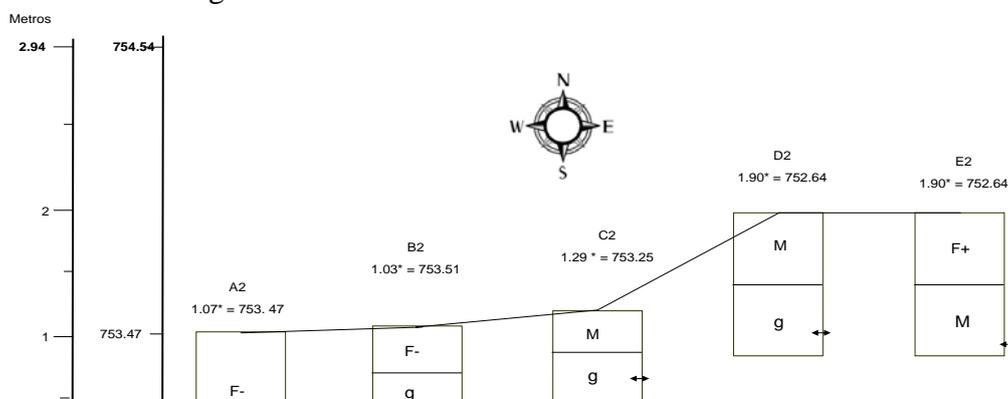


Figura 8. Mapa de perfiles estratigráficos de la vega 1, 2 y 3, Monte Redondo, Zamorano, Honduras, 2006.

### 3.3 DRENAJE

#### 3.3.1 Topografía

El análisis de los datos de altimetría tomados con la estación total dio origen al mapa tridimensional de relieve (Figura 9) y el mapa de curvas de nivel del terreno (Figura 10), estos fueron utilizados para análisis posteriores.

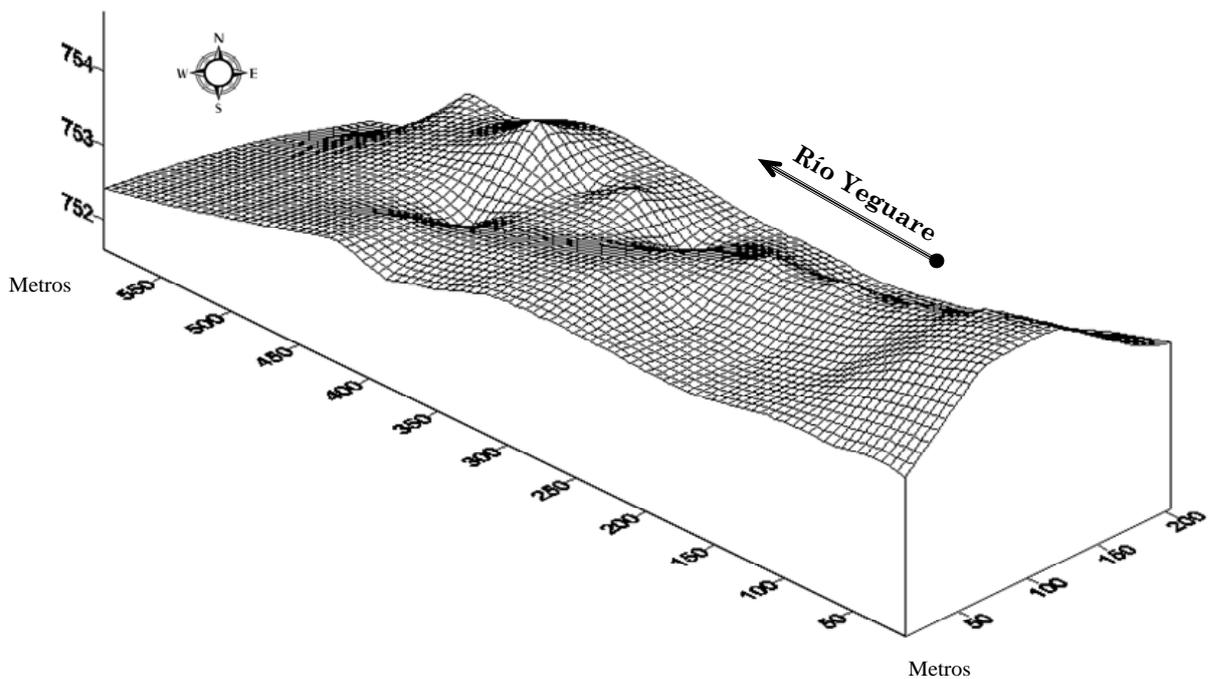


Figura 9. Muestra el mapa de relieve del área de estudio de la vega 1, 2 y 3, Monte Redondo, Zamorano, Honduras, 2006.

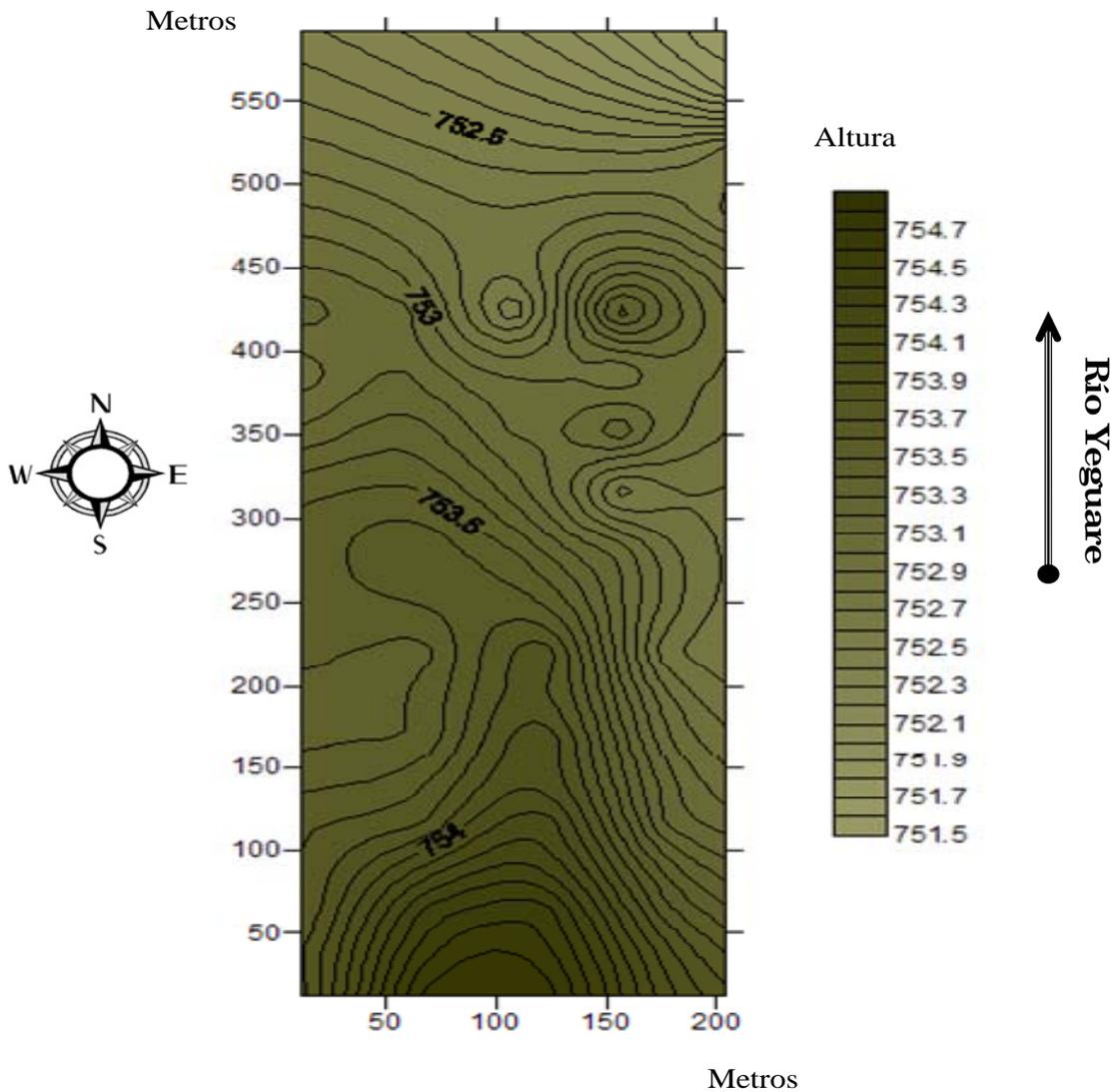


Figura 10. Mapa de curvas de nivel de la vega 1, 2 y 3, Monte Redondo, Zamorano, Honduras, 2006.

### 3.3.2 Conductividad hidráulica

El valor promedio de la conductividad hidráulica fue de 0.52 m/día, la cual se considera moderadamente baja e implica condiciones adversas para la relación agua/aire adecuada (Hernández 1991).

Con estos datos se elaboró un mapa de ubicación geográfica de las distintas conductividades hidráulicas sobre el terreno ya que estas son determinantes para el establecimiento y espaciamiento de los drenes (Figura 11).

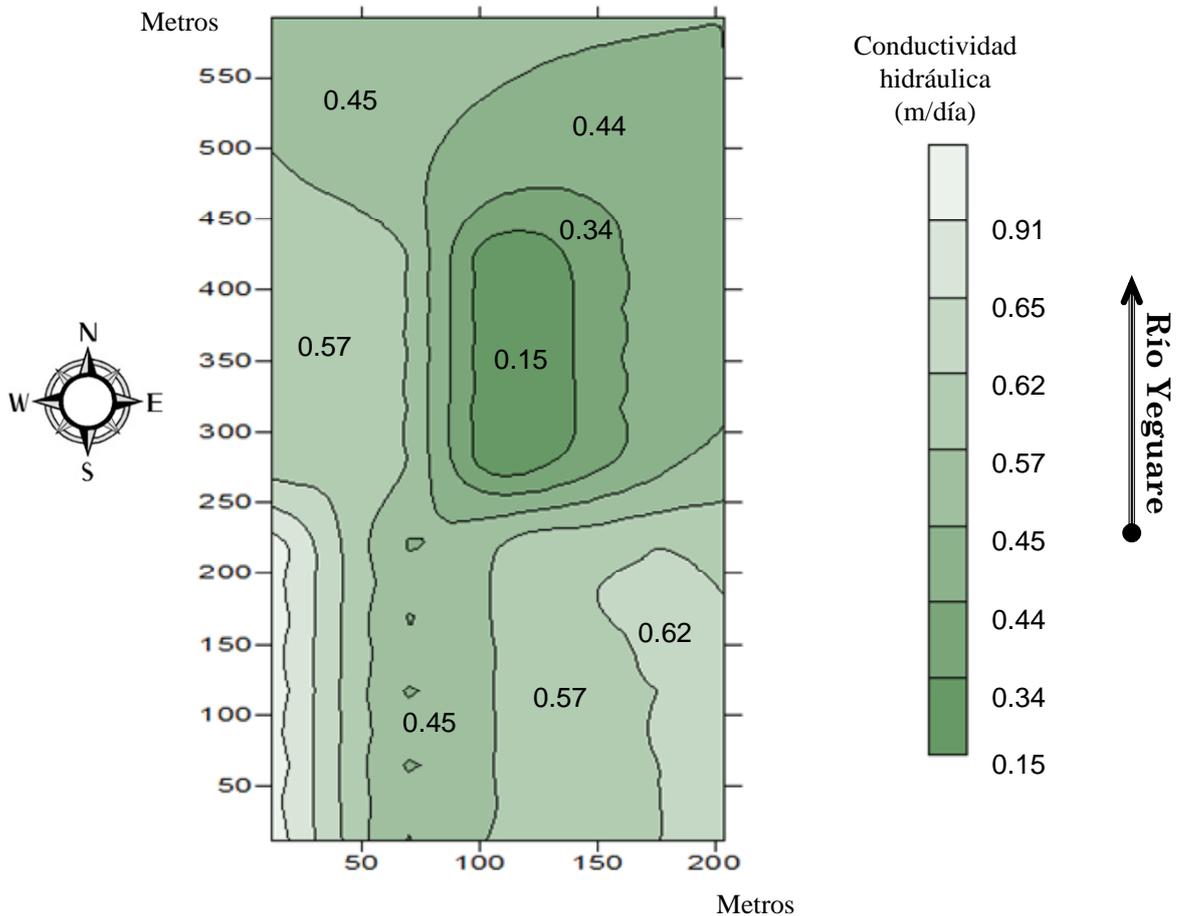


Figura 11. Zonas correspondientes a cada conductividad hidráulica de la vega 1, 2 y 3, Monte Redondo, Zamorano, Honduras, 2006.

Teniendo en cuenta la zonificación de las conductividades hidráulicas se procedió a identificarlas según las clases texturales de los suelos correspondientes a su ubicación, se identificó el área ocupada por cada clase textural y por consiguiente a cada conductividad

hidráulica (Cuadro 4). Teniendo así una conductividad hidráulica promedio para cada una de las clases, estas fueron utilizadas para determinar el espaciamiento y profundidad de los drenes.

Cuadro 4. Conductividades hidráulicas según clase de suelo en la vega 1, 2 y 3, Monte Redondo, Zamorano, Honduras, 2006.

Zona	Clase suelo	Área (ha)	Porcentaje	Conductividad hidráulica (kh)	kh Promedio
1	g/M	4.29	45	0.62 - 0.91	0.77*
2	M/F-	2.39	10	0.57 - 0.62	0.6*
3	(F-/g)/M	1.43	25	0.45 - 0.57	0.51
4	(F-/M)/F+	0.95	15	0.15 - 0.45	0.3*
5	(F+/F-)	0.48	5	< 0.15	0.15

Cuadro 5. Conductividad hidráulica de cada freatómetro en la vega 1, 2 y 3, Monte Redondo, Zamorano, Honduras, 2006.

Freatómetro	Conductividad Hidráulica (k)	
	cm/h	m/d
A5	2.38	0.57
C1	0.63	0.15
D4	1.45	0.34
E2	1.80	0.45
A3	3.81	0.91
B1	1.85	0.44
C5	2.59	0.62
D2	2.72	0.65
Promedio	2.15	0.52

### 3.3.3 Isóbatas, isohypsas y líneas de flujo

Teniendo en cuenta la profundidad de los moteos (Anexo 3) y la altimetría de los freatómetros se construyó el mapa de isóbatas en el cual se observa la profundidad de la capa freática georeferenciada altimetricamente a una cota (Figura 12). De igual manera se elaboró un mapa tridimensional de isóbatas para observar el comportamiento de la capa freática dentro del suelo (Figura 13), en este mapa se identifican las áreas en las cuales el nivel freático está próximo a la superficie del terreno siendo estas zonas las más afectadas por problemas de drenaje.

Luego se elaboró el mapa de isohypsas con el que se identificó área de recarga, descarga y gradiente hidráulico (Figura 14). Se hizo un mapa de líneas de flujo el cual establece la dirección en la cual el agua fluye dentro del terreno y que sirve como base para determinar la ubicación del dren colector y drenes secundarios (Figura 14).

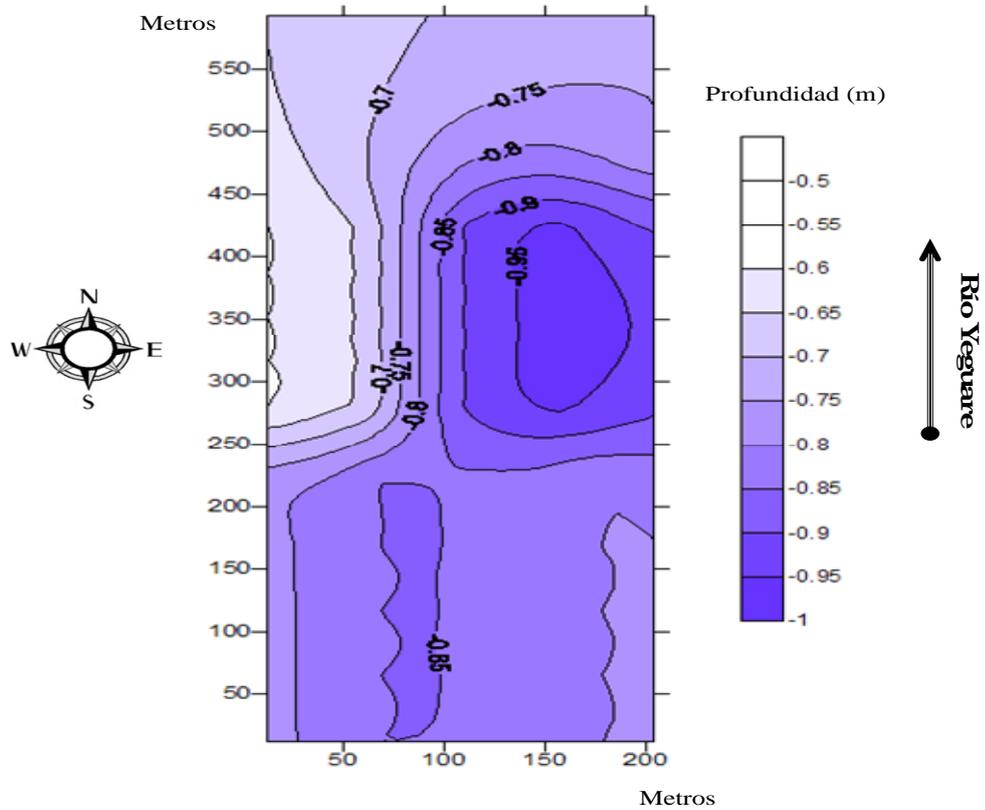


Figura 12. Mapa de isóbatas de la vega 1, 2 y 3, Monte Redondo, Zamorano, Honduras, 2006.

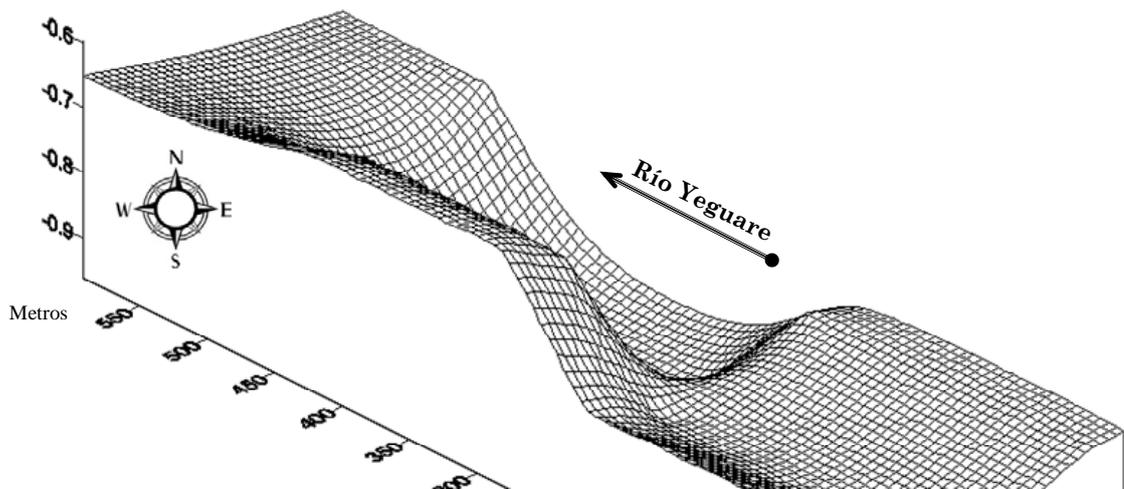


Figura 13. Mapa de isóbatas de la vega 1, 2 y 3, Monte Redondo, Zamorano, Honduras, 2006.

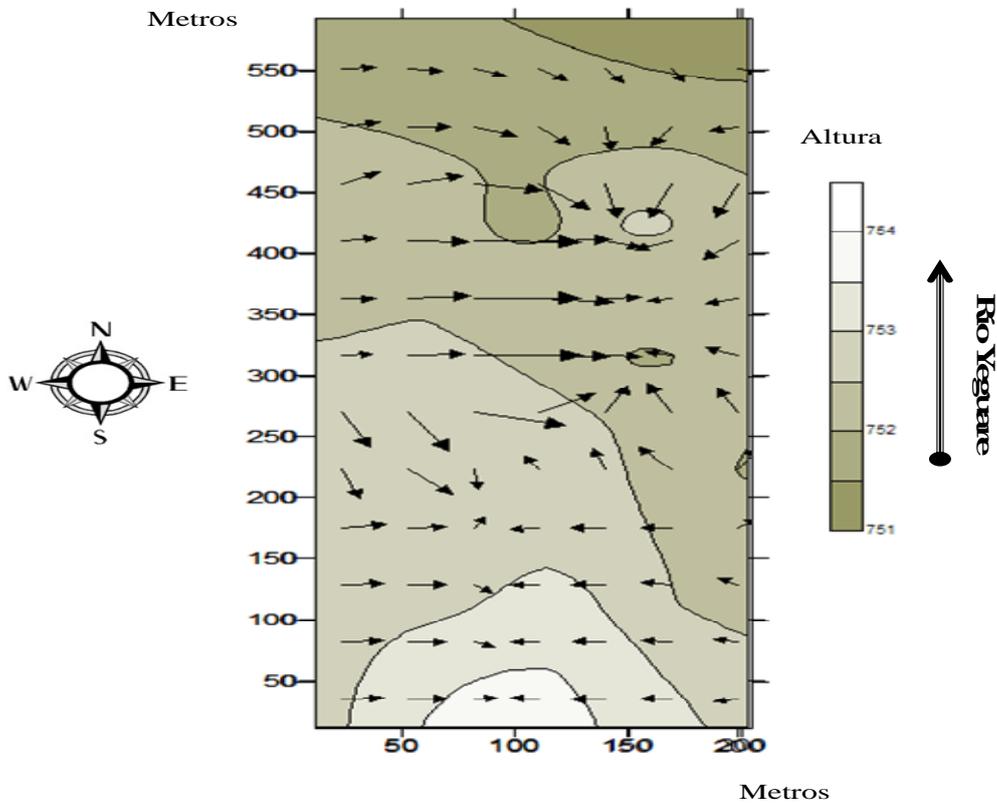


Figura 14. Mapa de Isohypsas de la vega 1, 2 y 3, Monte Redondo, Zamorano, Honduras, 2006.

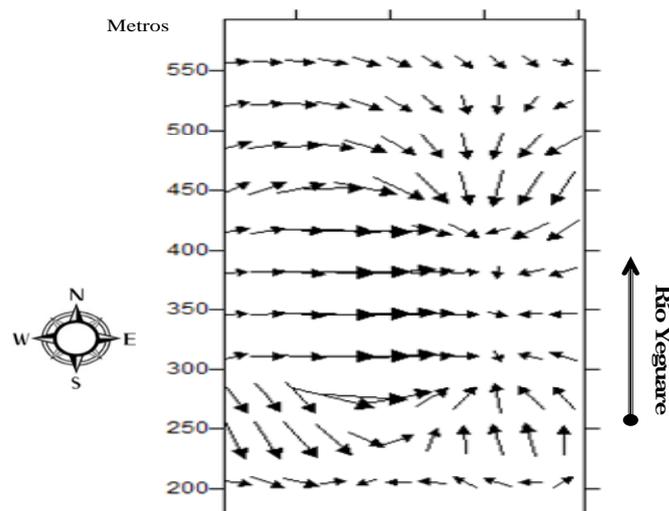


Figura 15. Mapa de líneas de flujo del agua en la vega 1, 2 y 3, Monte Redondo, Zamorano, Honduras, 2006.

### **3.3.4 Diagnóstico del problema de drenaje**

En las determinaciones y análisis realizados sobre el terreno se aprecian sectores completamente anegados en la época de lluvias, los cuales coinciden con las zonas de alto nivel freático, declinaciones topográficas una capa impermeable formada por arcillas finas y una baja conductividad hidráulica (0.15 m/día).

Por ser esta una llanura aluvial las cuales son formadas por una corriente que desborda cuando el caudal supera la capacidad de su cauce, en las riberas de los ríos y en los márgenes de los cursos de agua secundarios se forman bancos que tiene una textura más gruesa que el resto de la llanura. Entre los bancos existen depresiones con suelos de texturas finas. Las transiciones entre bancos y depresiones son las llanuras de inundación, con suelos de texturas finas a medias. En las depresiones el nivel freático es superficial y dada la baja permeabilidad, el drenaje natural es insuficiente (Hernández 1991).

Los períodos de mal drenaje son deducidos de las curvas de evapotranspiración y precipitación promedio y dentro de estos se seleccionan los periodos de exceso de agua.

### **3.3.5 Solución al problema de drenaje**

Considerando como aspecto prioritario la poca profundidad efectiva del suelo a causa de la barrera impermeable, el alto nivel freático y la textura fina del suelo en las áreas afectadas por mal drenaje, se recomienda un sistema de drenaje subsuperficial apoyado de un buen diseño del dren colector principal, con capacidad de evacuar aguas subsuperficiales y de escorrentía.

Se encontró un nivel freático que oscila entre los 0.70 – 1.00 metros y una capa limitante que se encuentra entre los 0.50 y 1.00 metros. El coeficiente de drenaje subsuperficial determinado para las dimensiones de los drenes es de 1.26 Lts/seg/ha. La posición de los drenes se estableció con base en los mapas de isohypsas y líneas de flujo, la ubicación de los drenes se determina según la dirección de flujo del agua ya que estos tiene que cortar dicho flujo para dirigir este exceso de agua al dren colector para ser evacuado (Figura

17). Los drenes propuestos en el diseño consisten en un dren colector principal para cada lote, el cual evacuará el agua del terreno y 13 drenes secundarios que llevarán el agua hasta los drenes colectores, ambos drenes tendrán una pendiente del 2 por mil como pendiente no erosiva, las dimensiones, espaciamentos y diseño propuestos para el sistema de drenaje se muestran en la Figura 16 y el Cuadro 6.

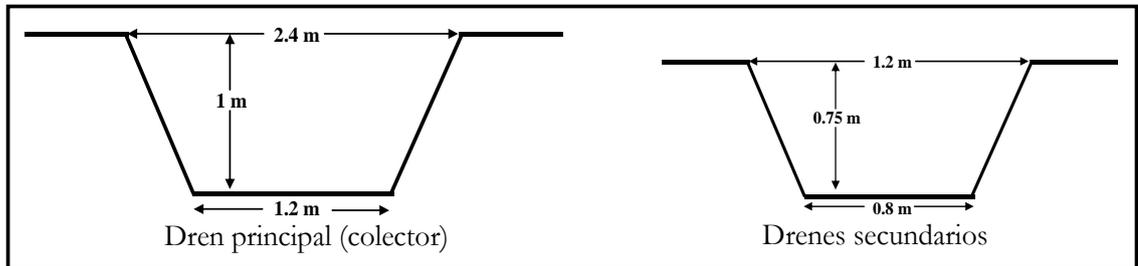


Figura 16. Dimensión en metros correspondiente al dren colector principal y a los drenes secundarios propuestos para la vega 1, 2 y 3, Monte Redondo, Zamorano, Honduras, 2006.

Cuadro 6. Dimensiones y espaciamentos propuestos para los drenes de la vega 1, 2 y 3, Monte Redondo, Zamorano, Honduras, 2006.

	Drenes	Número	Longitud (m)	Prof (m)	kd	Espaciamento (m)	Vol (m <sup>3</sup> )	Área (m <sup>2</sup> )
Vega 1	Colector	1	250.00	1.00	0.30		450.00	300.00
	Secundario	1	150.00	0.70	0.30		112.50	180.00
Vega 2 y 3	Colector	1	430.00	1.00	0.77		774.00	1032.00
	Secundarios	4	120.00	0.70	0.60	30.00	360.00	1152.00
		6	80.00	0.70	0.30	16.00	360.00	1152.00
Total			1030.00				2056.50	3816.00

4%

kd: Conductividad hidráulica.

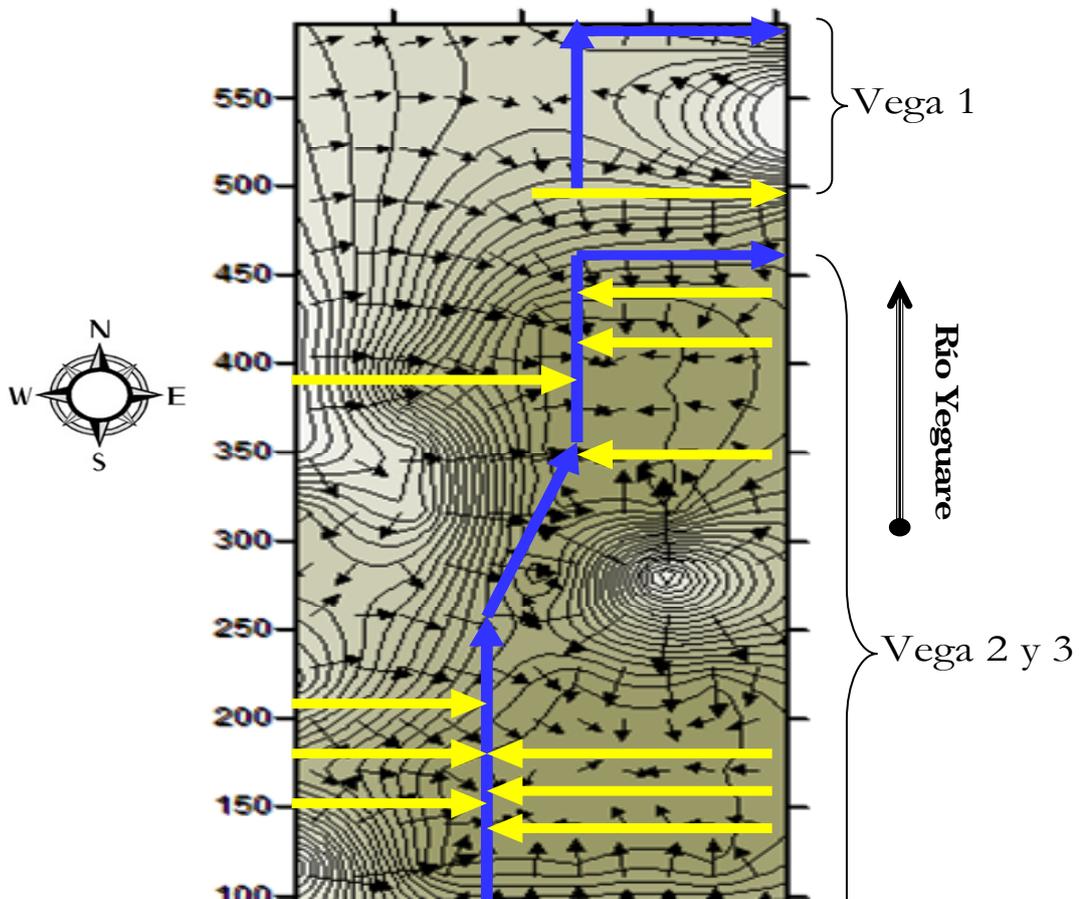


Figura 17. Diseño del sistema de drenaje a implementar en la vega 1, 2 y 3, Monte Redondo, Zamorano, Honduras, 2006.

### 3.3.6 Costo de implementación del sistema de drenaje

La cantidad de tierra a remover son 2,056.5 metros cúbicos, la pala mecánica con la que cuenta la Unidad de Maquinaria Agrícola tiene la capacidad de mover 250 metros cúbicos por día, dando un total de ocho días de trabajo para completar la obra. Los costos de maquinaria por día equivalen a L. 4,500, cada día cuenta con 8 horas de trabajo que tienen un precio de L. 562.5 por hora. El precio por metro cúbico es de L. 18. El Cuadro 7 muestra el costo final del sistema de drenaje.

Cuadro 7. Costo del sistema de drenaje por metro cúbico a implementar en la vega 1, 2 y 3, Monte Redondo, Zamorano, Honduras, 2006.

Lugar	Drenes	Metros (m <sup>3</sup> )	Costos/m <sup>3</sup> (L.)
Vega 1	Colector	450.00	8100
	Secundario	112.50	2025
Vega 2 y 3	Colector	774.00	13932
	Secundarios	720.00	12960
Total		2056.5	37017
			\$1,948.26

## 4. CONCLUSIONES

El problema que presentan los lotes es el drenaje subsuperficial, el cual se corrige mediante la construcción de una red de drenes que profundicen la capa freática y recojan el exceso de agua de escorrentía.

El problema de drenaje se manifiesta especialmente durante la época de lluvias, que para la zona está plenamente definido en el año en los meses de mayo a octubre, lo que provoca grandes fluctuaciones en el nivel freático.

El coeficiente de drenaje subsuperficial alcanzó valores de 1.26 lts/seg/ha.

El problema de drenajes se enmarca en las zonas con suelos de texturas finas y muy finas.

El costo de implementación del sistema de drenaje es de L. 37,017; equivalente a \$1,948.26

## **5. RECOMENDACIONES**

Implementar el sistema de drenaje para la adecuación del área y poder tener un sistema de producción bajo condiciones óptimas con mejores rendimientos.

Realizar el estudio en época de lluvias para comprobar los datos de muestreo con los de nivel freático.

Darle mantenimiento constante a los canales de drenaje una vez hechos para mantener su eficiencia.

Elaborar un estudio sobre la borda del río para evitar su desborde.

## **6. BIBLIOGRAFÍA**

Arévalo G. y Araujo J. 1984. Determinación del espaciamiento y profundidad de drenes en el suelo de la serie marengo (MO), en el Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Tesis Facultad de Agrología. Universidad de Bogotá José Tadeo Lozano. Página 2. 135 p.

Ashkar, *et al.* 1994. Distribuciones de Probabilidad en Hidrología. <http://fluidos.eia.edu.co/hidrologiai/probabilidad/probabilidad.htm>

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

Durand-Daste F, 2005. Balance hídrico. [http:// hypergeo.free.fr/article.php](http://hypergeo.free.fr/article.php)

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

López J. 2003. Caracterización de suelos de la Zamoempresa de Cultivos Extensivos en el Valle de El Zamorano, Honduras. Ing. Tesis. EAP El Zamorano. Honduras.

Luthin J. 1978. Drainage Engineering. Sección 5 Profundidad y espaciamento de los drenes. Página 5.42. 7.77 p.

Pizarro F. 1978. Drenajes agrícolas y recuperación de suelos salinos. Editora Agrícola Española. Madrid. 1978. Página 12. 520 p.

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

## 7. ANEXOS

Anexo 1. Descripción de las propiedades físicas del suelo de acuerdo a cada barrenación en la vega 1, 2 y 3, Monte Redondo, Zamorano, Honduras, 2006.

### Vega 1

Barrenaciones				Barrenaciones			
#	Profundidad (m)	Color	Textura	#	Profundidad (m)	Color	Textura
A1	0 - 20	10 yr 3/2	FAr	B1	0 - 25	10 yr 3/2	FArA
	20 - 56	10 yr 3/2 M	FAr		25 - 50	10 yr 2/2	A
	56 - 84	11 yr 3/2	FArL		50 - 80	7.5 yr 3/2	FA
	84 - 110x	12 yr 3/2	FArA		80 - 110x	7.5 yr 3/2	FA
A2	0 - 30	10 yr 3/2	FAr		B2	0 - 30	7.5 yr 3/2

	30 - 58	10 yr 3/2	FAr		30 - 66	7.5 yr 3/3	A
	58 - 80	11 yr 3/2	FArL		66 - 110x	7.5 yr 3/2 M	ArA
	80 - 110x	12 yr 3/2	FArA				
A3	0 - 35	10 yr 5/2	ArA	B3	0 - 20	10 yr 2/2	FArA
	35 - 60	10 yr 3/3 M	ArA		20 - 44	10 yr 3/2	FA
	60 - 86	10 yr 3/1	ArA		44 - 69	7.5 yr 3/2	FA
	86 - 110x	2.5 y 2.5/1	ArA gr		69 - 110x	7.5 yr 3/2	ArA
A4	0 - 38	10 yr 2/2	ArA	B4	0 - 30	10 yr 3/2	FA
	38 - 70	2.5 y3/3	ArA gr		30 - 59	10 yr 3/2	FA
	70 - 96	10 yr 3/2	ArA gr		59 - 88	7.5 yr 3/2	A
	96 - 110x	10 yr 3/2	FArA		88 - 114x	7.5 yr 3/2	FArA
A5	0 - 35	10 yr 2/2	ArA	B5	0 - 30	10 yr 3/3	FArA
	35 - 67	10 yr 2/2	ArA		30 - 59	10 yr 2/2	FArA
	67 - 90	10 yr 3/2	ArA		59 - 77	7.5 yr 3/3	A
	90 - 110x	10 yr 3/2	ArA gr		77 - 110x	7.5 yr 3/2 M	A

Textura: A, Arenosa; FA, Franco Arenosa; F, Franca; FAr, Franco Arcillosa, FArL, Franco Arcillo Limosa; gr, grava.

#### Anexo I. Continuación

Barrenaciones			
#	Profundidad (m)	Color	Textura
C1	0 - 27	10 yr 2/2	FA
	27 - 59	10 yr 3/2	FA
	59 - 87	10 yr 2/2	FA
	87 - 110x	10 yr 2/2 M	FA
C2	0 - 37	10 yr 2/2	FA
	37 - 61	10 yr 2/2	FA
	61 - 83	10 yr 4/2	A
	83 - 110x	10 yr 2/2	FA
C3	0 - 26	10 yr 2/2	FA
	26 - 54	10 yr 2/2	FA
	54 - 80	10 yr 3/3	A
	80 - 110x	10 yr 3/3	A
C4	0 - 28	10 yr 2/2	FA

Barrenaciones			
#	Profundidad (m)	Color	Textura
D1	0 - 25	10 yr 2/2	FA
	25 - 40	10 yr 2/2	FA
	40 - 60	10 yr 2/1	ArA
	60 - 84	10 yr 2/1	FA
	84 - 110x	7.5 yr 3/2	A
D2	0 - 40	10 yr 2/2	FA
	40 - 60	2 y 3/3	A
	60 - 85	10 yr 3/2	A
	85 - 110x	10 yr 3/2	A
D3	0 - 30	10 yr 3/3	A
	30 - 53	10 yr 2/2	FA
	53 - 73	10 yr 2/2	FA
	73 - 110x	10 yr 2/2	FA

	28 - 44	10 yr 2/2	FA
	44 - 70	2.5 y 3/2	A
	70 - 88	2.5 y 3/3	A
	88 - 110x	2.5 y 3/3	A
C5	0 - 30	10 yr 2/2	FA
	30 - 56	7.5 yr 3/2	A
	56 - 90	7.5 yr 2/2	A
	90 - 110x	10 yr 2/2 M	FA

D4	0 - 27	10 yr 3/4	A
	27 - 50	10 yr 2/2	FA
	50 - 76	10 yr 2/2	FA
		10 yr 2/2	
	76 - 96	M	FA
	96 - 110x	10 yr 2/2	FA
D5	0 - 33	10 yr 2/2	A
	33 - 53	10 yr 2/2	FA
	53 - 70	10 yr 2/2	FA
		10 yr 2/2	
	70 - 110x	10 yr 2/2	FA

Barrenaciones			
#	Profundidad (m)	Color	Textura
E1	0 - 46	10 yr 3/4	A
	46 - 78	10 yr 3/2	FA
	78 - 110x	10 yr 3/4	FAr
E2	0 - 30	10 yr 3/2	ArA
	30 - 75	10 yr 2/2	FA
	75 - 110x	10 yr 2/2	FA
E3	0 - 33	10 yr 3/2	ArA
	33 - 73	10 yr 2/2	FA
	73 - 110x	10 yr 3/2	FA
E4	0 - 28	10 yr 3/2	A
	28 - 46	10 yr 3/3	A
	46 - 110x nf: 75	10 yr 3/2 M	FAr

Textura: A, Arenosa; FA, Franco Arenosa; F, Franca; FAr, Franco Arcillosa, FArL, Franco Arcillo Limosa; gr, grava.

Anexo 1. Continuación

### Vega 2 y 3

Barrenaciones			
#	Profundidad (m)	Color	Textura
A1	0 - 20	10 yr 3/2	F
	20 - 35	10 yr 3/2	F
	35 - 60	10 yr 3/1	FAr
	60 - 80	10 yr 3/1	FAr
	80 - 100	2.5 y 3/2	FA
	100 - 115x	2.5 y 2.5/1 M	Ar
A2	0 - 22	10 yr 3/2	F
	22 - 40	10 yr 3/2	F
	40 - 60	10 yr 3/1	F
	60 - 78 nf	10 yr 3/1	F
	78 - 94	2.5 y 3/1	FAr

Barrenaciones			
#	Profundidad (m)	Color	Textura
B1	0 - 25	10 yr 3/2	F
	25 - 45	10 yr 3/3	F
	45 - 60	2.5 y 3/1	FAr
	60 - 80	2.5 y 3/2	F
	80 - 110x	2.5 y 3/3 Mot	F
B2	0 - 25	10 yr 3/2	F
	25 - 44	10 yr 3/2	F
	44 - 64	10 yr 3/2	F
	64 - 88	10 yr 3/2	F
	88 - 110x	10 yr 3/2	F
B	0 - 24	10 yr 3/2	F

	94 - 110x	2.5 y 3/2	FAr	3	24 - 54	10 yr 3/2	F
A 3	0 - 30	7.5 yr 3/1	FAr		54 - 78	10 yr 3/2	FA
	30 - 50 nf	7.5 yr 2.5/1	Ar		78 - 110x	11 yr 3/2	FA
	50 - 70	7.5 yr 2.5/2	FArL		78 - 110x	10 yr 3/2	FA
	70 - 98	7.5 yr 2.5/3	Ar	B 4	0 - 40	7.5 yr 2.5/3	FArA
	98 - 110x	7.5 yr 2.5/4	Ar		40 - 66	7.5 yr 2.5/3	FArA
			66 - 90		7.5 yr 2.5/3 Mot	FArA	
A 4	0 - 33	7.5 yr 2.5/2	FArA		90 - 110x	7.5 yr 3/3	FArA
	33 - 60	7.5 yr 2.5/1	FArA	B 5	0 - 44	7.5 yr 2.5/3	FArA
	60 - 80	7.5 yr 2.5/1	F pa		44 - 70	7.5 yr 2.5/3	FArA
	80 - 110x	7.5 yr 2.5/1 Mot	F		70 - 96	7.5 yr 2.5/3	FArA
A 5	0 - 38	7.5 yr 2.5/2	FArA		96 - 110x	7.5 yr 3/3	FArA
			FArA				
	38 - 62	7.5 yr 2.5/1	gr				
	62 - 95	7.5 yr 2.5/1	FArA				
	95 - 110x	7.5 yr 2.5/1	FArA				

Textura: A, Arenosa; FA, Franco Arenosa; F, Franca; FAr, Franco Arcillosa, FArL, Franco Arcillo Limosa; gr, grava.

#### Anexo 1. Continuación

Barrenaciones			
#	Profundidad (m)	Color	Textura
C1	0 - 23	10 yr 2.5/2	F
	23 - 50	7.5 yr 3/2	FA
	50 - 84	7.5 yr 3/2	FA
	84 - 110x	7.5 yr 3/3	FA
C2	0 - 34	10 yr 2/2	F
	34 - 70	7.5 yr 2.5/2	FA
	70 - 110x	7.5 yr 2.5/2	FA
C3	0 - 25	10 yr 3/2	F
	25 - 40	10 yr 2/2	F
	40 - 70	7.5 yr 3/2	FL
	90 - 110x	7.5 yr 2.5/2	FA
C4	0 - 23	7.5 yr 2.5/3	FArA
	23 - 50	7.5 yr 2.5/3	FArA
	50 - 84	7.5 yr 2.5/3	FArA

Barrenaciones			
#	Profundidad (m)	Color	Textura
D1	0 - 28	7.5 yr 2.5/2	F
	28 - 56	7.5 yr 2.5/2	FA
	56 - 74	7.5 yr 2.5/2	FA
	74 - 110x	7.5 yr 2.5/2 Gm	FA
D2	0 - 28	10 yr 3/2	F
	28 - 50	7.5 yr 2.5/2	FA
	50 - 75	2.5 y 3/3	A
	75 - 98	2.5 y 3/3	A
D3	98 - 115x	2.5 y 3/3	A
	0 - 30	10 yr 3/1	F
D4	80 - 110x	7.5 yr 2.5/3	FA
	0 - 30	7.5 yr 2.5/2	FArA
	30 - 62	7.5 yr 2.5/1	FArA
	62 - 90	2.5 y 3/3	A

	84 - 110x	7.5 yr 3/3 Mot	FArA		90 - 110x	2.5 y 3/3	A
C5	0 - 30	7.5 yr 2.5/3	FArA	D5	0 - 25	7.5 yr 2.5/2	FArA
	30 - 62	7.5 yr 2.5/3	FArA		25 - 55	7.5 yr 2.5/1	FArA
	62 - 90	7.5 yr 2.5/3	FArA		55 - 90	2.5 y 3/3	A
	90 - 110x	7.5 yr 3/3	FArA		90 - 110x	2.5 y 3/3	A

Textura: A, Arenosa; FA, Franco Arenosa; F, Franca; FAr, Franco Arcillosa, FArL, Franco Arcillo Limosa; gr, grava.

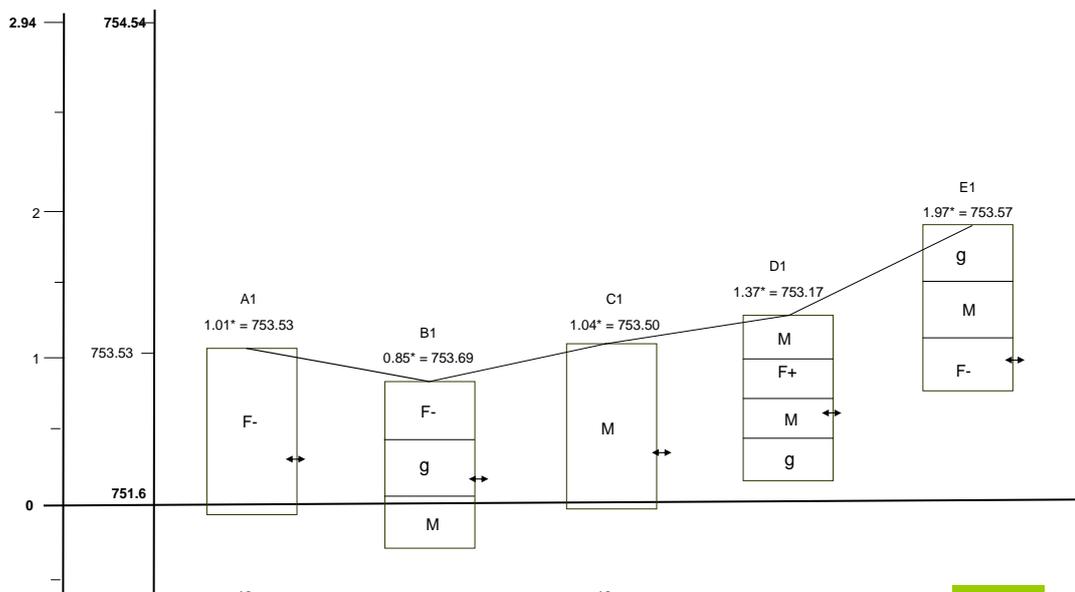
Anexo 2. Altimetría de los freatímetros en la vega 1, 2 y 3, Monte Redondo, Zamorano, Honduras, 2006.

Vega 1		Vega 2 y 3	
Freatimetro	Altura (m)	Freatimetro	Altura (m)
A1	753.533	A1	753.518
A2	753.475	B1	753.457
A3	753.215	C1	753.875
A4	753.033	D1	752.822
A5	753.245	A2	753.483
B1	753.698	B2	753.514
B2	753.515	C2	753.985
B3	753.363	D2	753.117
B4	753.2	A3	753.681
B5	753.123	B3	753.783
C1	753.506	C3	754.157
C2	753.258	D3	753.278

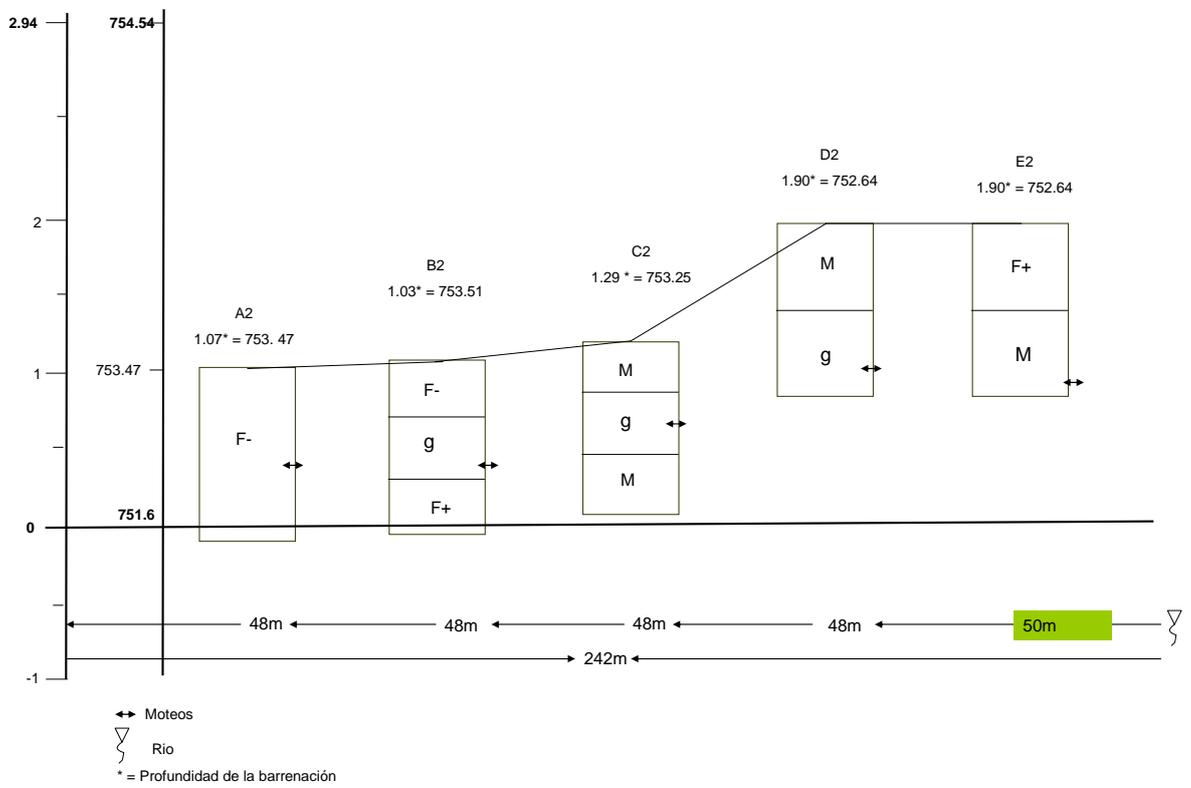
C3	753.083	B4	754.409
C4	752.984	A4	753.696
C5	752.512	C4	754.544
D1	753.178	D4	753.734
D2	752.645		
D3	753.281		
D4	752.9		
D5	753.57		
E1	752.573		
E2	752.647		
E3	751.803		
E4	751.602		

Anexo 3. Perfiles estratigráficos del terreno que muestran la profundidad de estratos y de los moteos en la vega 1, 2 y 3, Monte Redondo, Zamorano, Honduras, 2006.

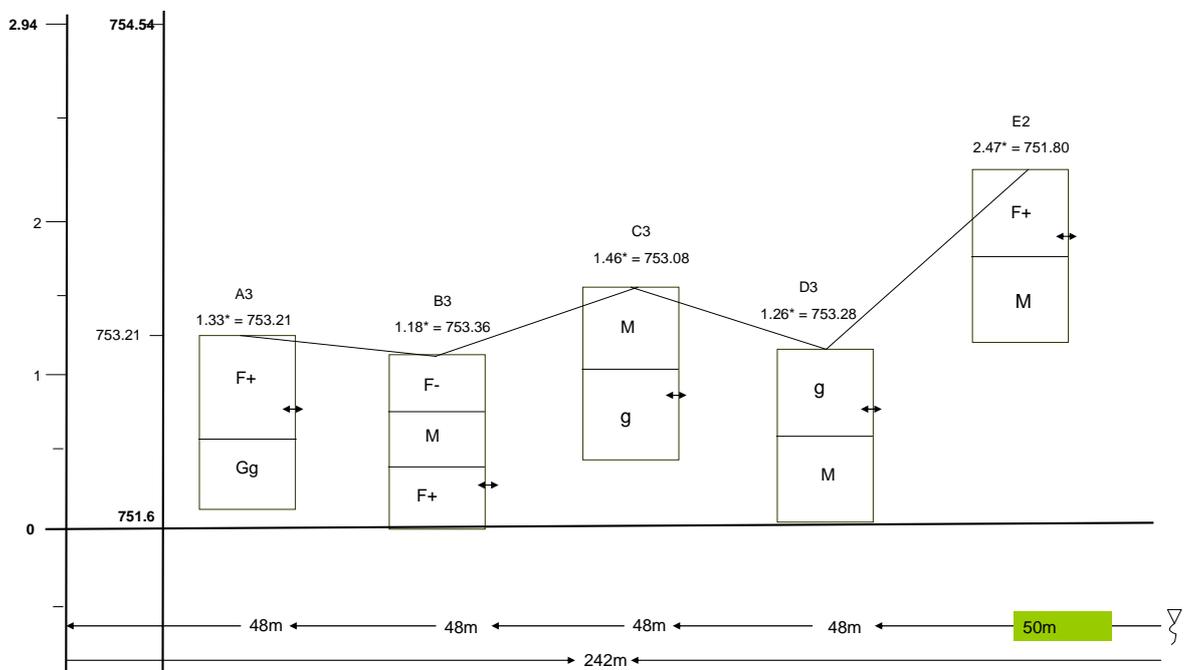
### Vega 1, Sección 1



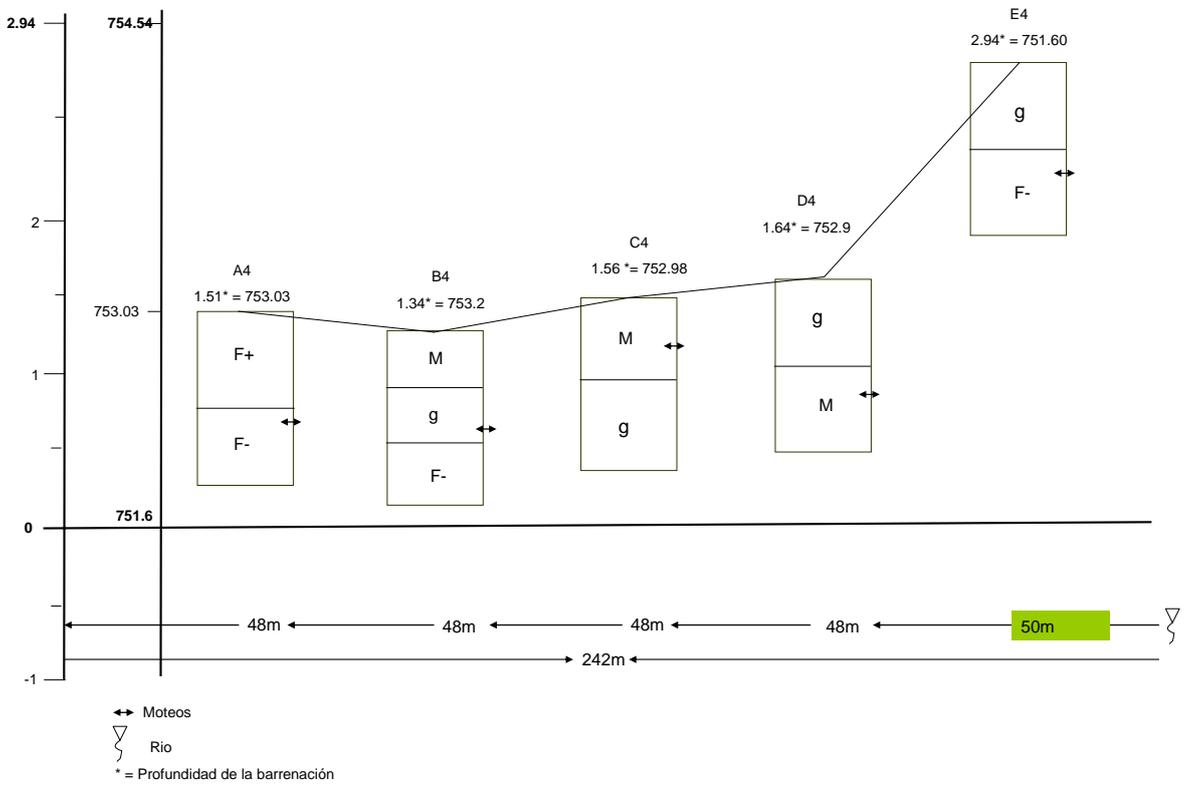
Vega 1, Sección 2



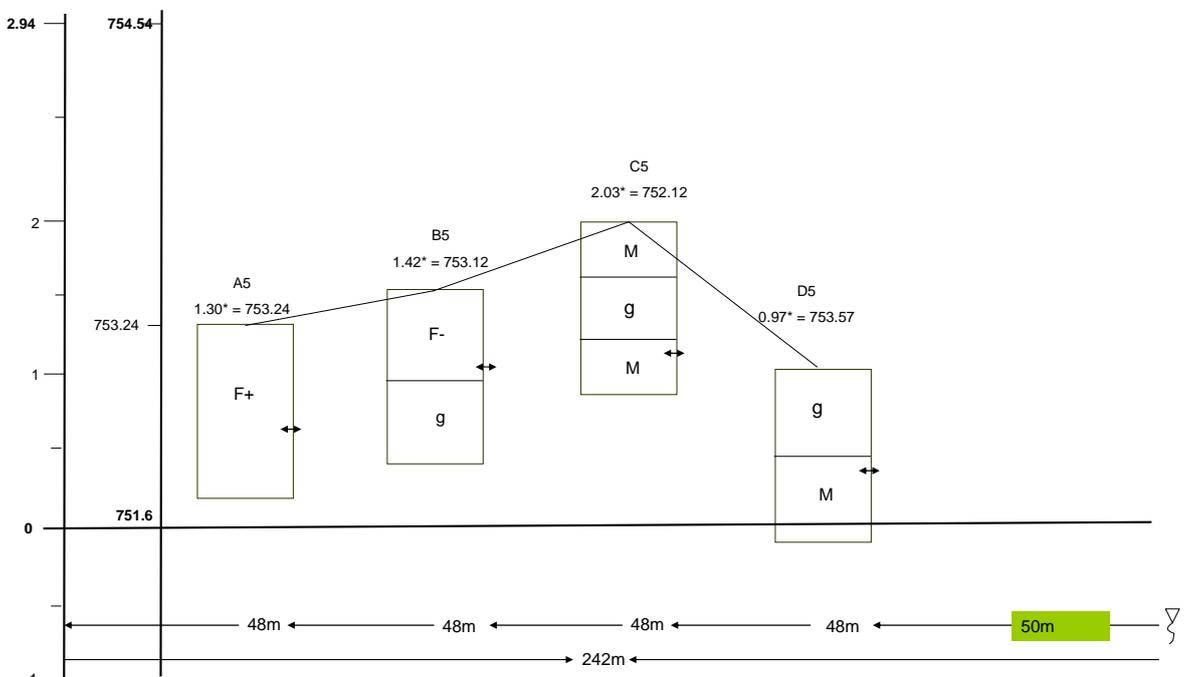
Vega 1, Sección 3



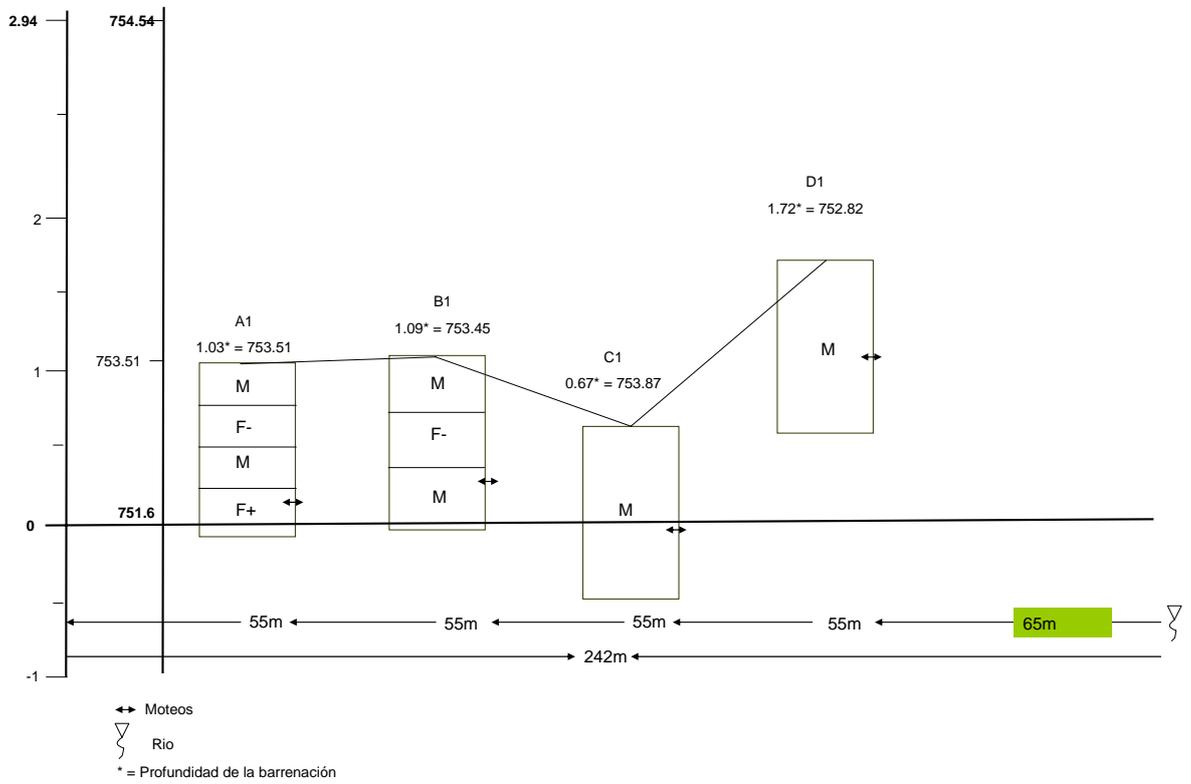
Vega 1, Sección 4



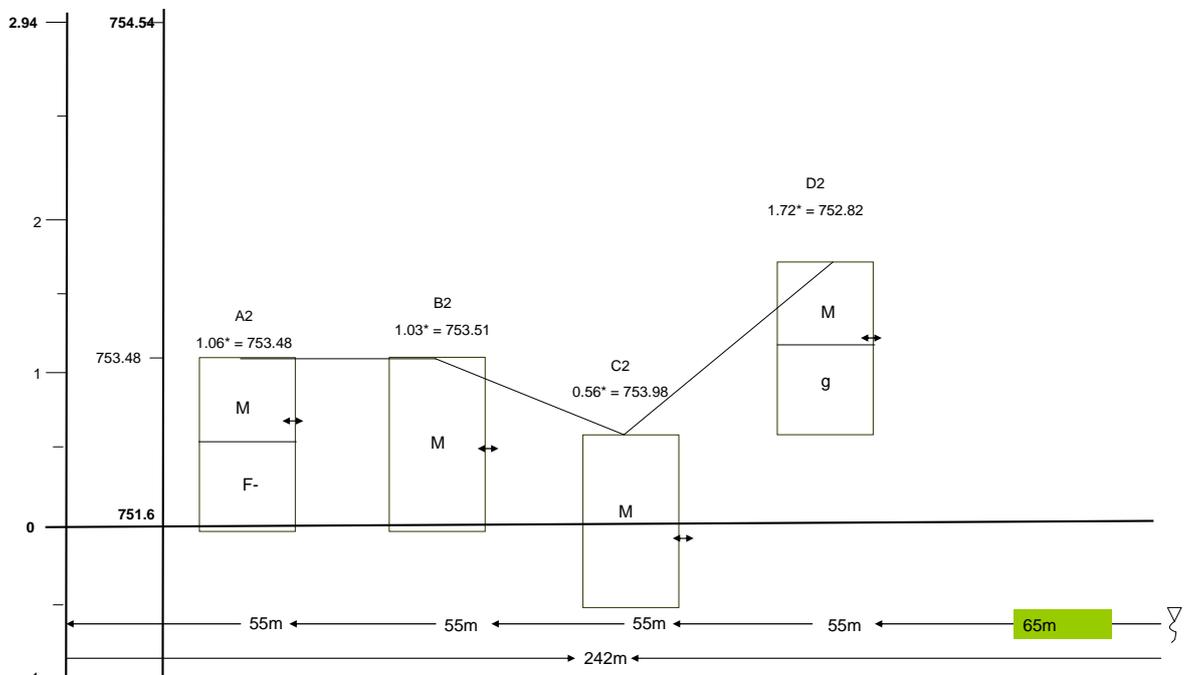
Vega 1, Sección 5



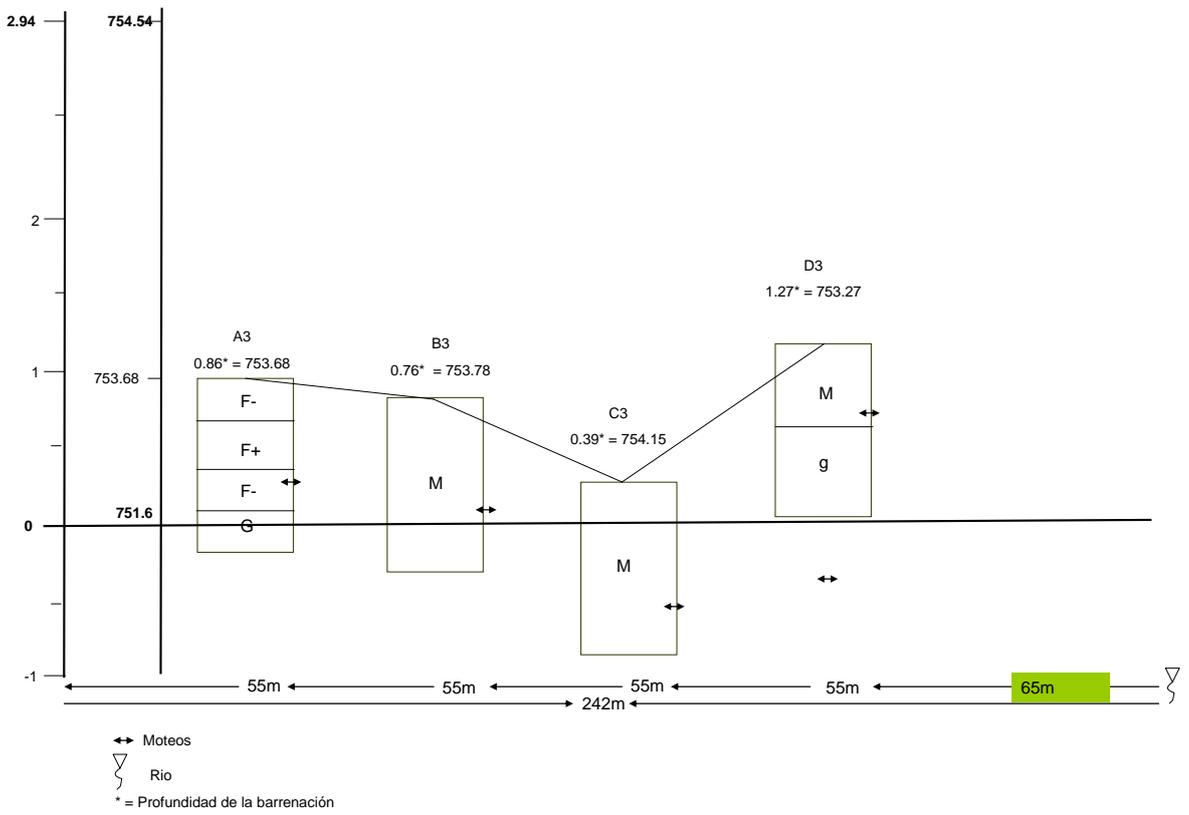
### Vega 2 y 3, Sección 1



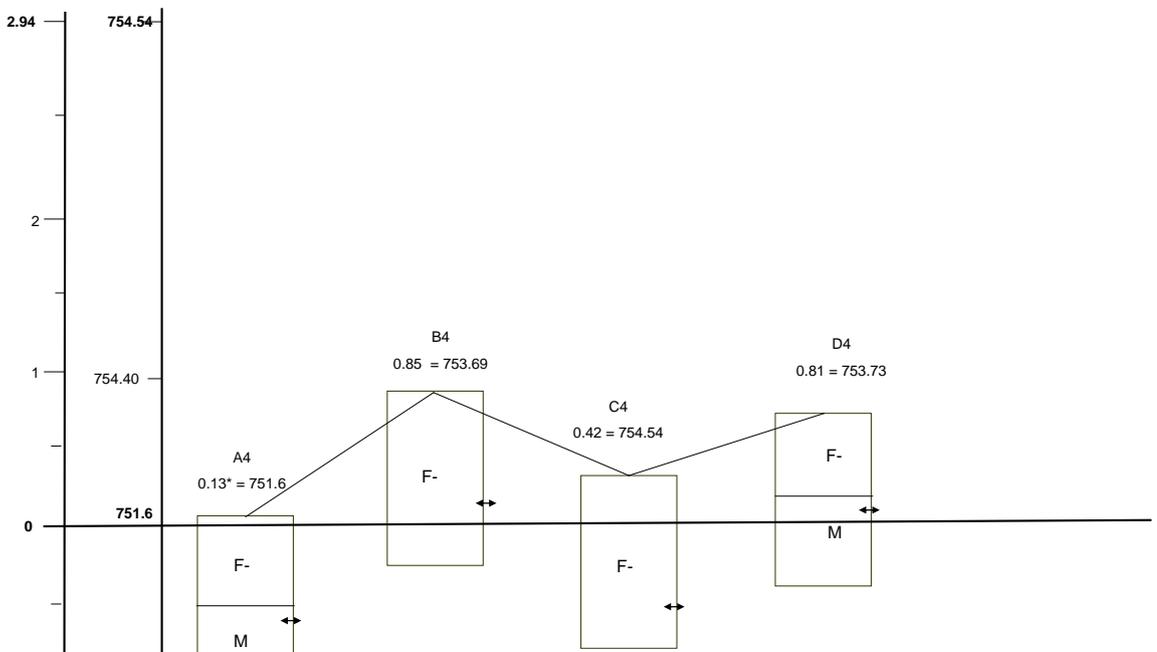
### Vega 2 y 3, Sección 2



Vega 2 y 3, Sección 3



Vega 2 y 3, Sección 4



Anexo 4. Datos de conductividad hidráulica en la vega 1, 2 y 3, Monte Redondo, Zamorano, Honduras, 2006.

Tiempo	LECTURAS (cm.)							
	Lote Pequeño				Lote Grande			
	A5	C1	D4	E2	A3	B1	C5	D2
0"	11	9	9	10	12	11	12	10
5"	12.5	11.4	13	14.3	17	15	16.7	18.4
10"	15	17	20.3	17.6	21.7	19.8	20.5	23
15"	21.3	19.7	27.5	23.2	28.2	24.6	29	32
20"	26	23.4	33.7	28.5	35	39.7	37	39

25"	30.7	29	41	37	40.8	44.8	45	47
30"	34.4	38.3	47.6	44	47.3	50	41	52.5
35"	37	41	54.3	51.5	52	58	58.7	58.3
40"	43.6	45.5	59	57.4	59	63	65	66
45"	47.3	49	67	62	67	69	73	75.4
50"	54	52	74	70	74	75	80	81.2
55"	59.2	57.3	82	77	81	82	83.6	87.8
60"	65	59.7	87.5	83	87.3	89	91	95.3
90"	73.2	66	93	89.6	94	95	97	103
2'	84	72.4	99	95	101	100	104	110
3'	93.7	79.5	102	102	107.2	106.7	112.7	119.3
4'	98	83	112	117	113	111	120	
5'	105	94	118.5		119	118		
7'	113	102						
9'		114						
10'								