

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA**

**DISEÑO HIDROLÓGICO CON MÉTODO DE LÍNEA CLAVE PARA LA COSECHA  
DE AGUA Y SUELO EN UNA FINCA DEL CORREDOR SECO HONDUREÑO, SAN  
MATÍAS EL PARAÍSO**

**POR:**

**ENRIQUE WILFREDO VELÁSQUEZ MEJÍA**

**TESIS**



**CATACAMAS**

**OLANCHO**

**JUNIO, 2016**

**DISEÑO HIDROLÓGICO CON MÉTODO DE LÍNEA CLAVE PARA LA COSECHA  
DE AGUA Y SUELO EN UNA FINCA DEL CORREDOR SECO HONDUREÑO, SAN  
MATÍAS EL PARAÍSO**

**POR:**

**ENRIQUE WILFREDO VELÁSQUEZ MEJÍA**

**ERLIN VIANNEY ESCOTO VALLADARES, M.Sc.**

**Asesor Principal**

**PRESENTADO A LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA COMO  
REQUISITO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE LICENCIADO EN  
RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE**

**CATACAMAS**

**OLANCHO**

**JUNIO, 2016**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA**

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE  
PRACTICA PROFESIONAL SUPERVISADA**

Reunidos en el Departamento Académico de Recursos Naturales y Ambiente de la Universidad Nacional de Agricultura: **M. Sc. ERLIN VIANNEY ESCOTO**, **M. Sc. JOSUÉ DAVID MATUTE**, **M. Sc. OSCAR FERREIRA CATRILEO**, Miembros del Jurado Examinador de Trabajos de P.P.S.

El estudiante **ENRIQUE WILFREDO VELÁSQUEZ MEJÍA** del IV Año de la Carrera de Recursos Naturales y Ambiente presentó su informe.

**“DISEÑO HIDROLÓGICO CON MÉTODO DE LÍNEA CLAVE PARA LA COSECHA DE AGUA Y SUELO EN UNA FINCA DEL CORREDOR SECO HONDUREÑO, SAN MATÍAS EL PARAÍSO”**

El cual a criterio de los examinadores, Aprobó este requisito para optar al título de Licenciado en Recursos Naturales y Ambiente.

Dado en la ciudad de Catacamas, Olancho, a los diez días del mes de junio del año dos mil dieciséis.

**M. Sc. ERLIN VIANNEY ESCOTO**

Consejero Principal

**M. Sc. JOSUÉ DAVID MATUTE**

Examinador

**M. Sc. OSCAR FERREIRA CATRILEO**

Examinador

## **DEDICATORIA**

A mi gran familia Velásquez Mejía, Velásquez Guifarro y Mejía Murillo por apoyo espiritual, económico y moral durante mi vida estudiantil.

A los productores que tienen problemas de sequía en sus fincas, espero que les sea de mucha ayuda.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por darme todo, a mis padres por el apoyo incondicional e inigualable, Sr. Enrique Velásquez, Sra. Rosa Mejía, hermanos Velásquez Mejía; Reynieri, José, Andrés y por su puesto a mi hermanita Rosita que es la más chiquita, a mis hermanas mayores Mariela Velásquez y Patricia Velásquez, a mi novia Jessika Fonseca por haberme apoyado en los trabajos y sobre todo por su paciencia.

A todos los colaboradores, por el apoyo en haber hecho posible este segmento: a los miembros del departamento de Recursos Naturales y Ambiente, en especial a mis profesores, asesores y amigos Erlin Escoto, M Sc., Josué Matute, M Sc., Oscar Ferreira, M Sc., Alberto Iraheta, Lic., Henry Morazán, Ph D.

A los productores de la finca El Salto, por el apoyo extraordinario en cuanto a logística dentro de la región, Sr. Melvis Escoto, Sra. Edenia Valladares, Melvis Escoto, Sr. Wil Escoto y Esposa, a mis familiares y amistades que me apoyaron en el desarrollo de las obras en dicho proyecto.

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
<b>LISTA DE TABLAS.....</b>	<b>vi</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>vii</b>
<b>LISTA DE ANEXOS .....</b>	<b>ix</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>x</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>II. OBJETIVOS .....</b>	<b>2</b>
2.1. General.....	2
2.2. Específicos .....	2
<b>III. REVISIÓN DE LITERATURA .....</b>	<b>3</b>
3.1. Definición .....	3
3.2. Relación disponibilidad de agua y bosque.....	3
3.3. Experiencias de cosecha de agua en el corredor seco de Honduras .....	3
3.4. Diseño hidrológico en línea clave.....	4
3.4.1. Aspectos a considerar.....	4
3.4.2. Importancia del diseño hidrológico.....	5
3.5. Análisis de diseño .....	5
3.5.1. La escala de permanencia.....	5
3.5.2. Capacidad de captación.....	9
3.6. Propiedades físicas del suelo .....	9
3.6.1. Humedad del suelo .....	9
3.6.2. Estructura .....	10
3.6.3. Textura .....	10
3.6.4. Densidad aparente .....	11

3.6.5. Porosidad.....	11
3.6.6. Color del suelo .....	12
3.6.7. Infiltración.....	12
3.7. Características químicas del suelo .....	13
3.7.1. Materia orgánica.....	13
3.8. Propiedades biológicas del suelo .....	14
3.9. Propiedades cualitativas del suelo .....	14
3.9.1. Cromatografía en papel.....	14
<b>IV. MATERIALES Y METODOS.....</b>	<b>15</b>
4.1. Materiales y equipo.....	15
4.2. Metodología.....	15
4.2.1. Descripción del sitio de estudio .....	15
4.3. Proceso metodológico.....	17
4.3.1. Etapa 1: Potencial de captación y propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo .....	18
4.3.2. Etapa 2: Movimiento natural del agua y análisis del diseño hidrológico del terreno.....	26
4.3.3. Etapa 3: Implementación del diseño hidrológico en el terreno.....	27
4.3.4. Etapa 4: Guía de implementación del diseño hidrológico en línea clave.....	28
<b>V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>29</b>
5.1. Etapa 1 .....	29
5.1.1. Potencial de captación de agua.....	29
5.1.2. Propiedades físicas .....	30
5.1.3. Propiedades químicas del suelo.....	35
5.1.4. Propiedades biológicas del suelo.....	39
5.1.5. Propiedades cualitativas del suelo.....	40

5.2.	Etapa 2 .....	41
5.2.1.	Curvas a nivel .....	41
5.2.2.	Movimiento natural del agua.....	42
5.2.3.	Diseño hidrológico .....	42
5.3.	Etapa 3 .....	43
5.3.1.	Implementación del diseño.....	43
5.3.2.	Control de torrentes .....	45
5.3.3.	Monitoreo del pozo.....	45
5.4.	Etapa 4 .....	48
5.4.1.	Manual de implementación .....	48
<b>VI.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>50</b>
<b>VII.</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>51</b>
<b>VIII.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>53</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>.....</b>	<b>57</b>

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Clasificación FAO (1981), para la densidad de macro organismos .....	25
<b>Tabla 2.</b> Registro de precipitaciones en finca El Salto durante el tiempo de estudio (diciembre 2015 a marzo 2016) .....	32
<b>Tabla 3.</b> Análisis químico del suelo en dos sitios de muestreo “1” y “2”, finca El Salto, San Matías El Paraíso de acuerdo a análisis de laboratorio de FHIA (2016).....	38
<b>Tabla 4.</b> Hongos encontrados en los puntos de muestreo en finca El Salto. ....	39
<b>Tabla 5.</b> Macro organismos del suelo encontrados en los sitios de muestreo. ....	40
<b>Tabla 6.</b> Capacidad de recolección de los canales según su dimensión. ....	44
<b>Tabla 7.</b> Monitoreo del pozo en finca El Salto .....	46

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Curvas de infiltración, según la textura del suelo (Pizarro et al. s.f). .....	13
<b>Figura 2.</b> Ubicación geográfica del sitio de estudio en el municipio de San Matías, El Paraíso, Honduras.....	17
<b>Figura 3.</b> Ubicación de los puntos de muestreo para la obtención de las propiedades físicas del suelo en la finca de El Salto.....	19
<b>Figura 4.</b> Puntos de muestreo para el procesamiento y análisis de cromatografía en papel de la finca El Salto .....	20
<b>Figura 5.</b> Ubicación de los puntos de muestreo para las propiedades químicas del suelo (sitio “1 y 2”) y la propiedad física de textura (Sitio “1”) en la finca El Salto.....	21
<b>Figura 6.</b> Ubicación de los puntos de muestreo para la obtención de propiedades cualitativas en la finca El Salto.....	22
<b>Figura 7.</b> Esquema para la extracción del volumen de suelo en el estudio realizado en la finca El Salto .....	25
<b>Figura 8.</b> Ubicación de área potencial de captación en finca El Salto en San Matías.....	29
<b>Figura 9.</b> Comportamiento de la estructura del suelo en la finca El Salto .....	30
<b>Figura 10.</b> Mapa de las variables de densidad aparente y porcentaje de porosidad, en la finca El Salto .....	31
<b>Figura 11.</b> Variación espacial de la humedad del suelo en la finca El Salto.....	32
<b>Figura 12.</b> Diseño espacial para análisis del comportamiento de la humedad mediante rangos, en finca El Salto.....	33
<b>Figura 13.</b> Curvas de infiltración medidas en finca El Salto.....	34
<b>Figura 14.</b> Marcaje de nueve curvas más .....	41
<b>Figura 15.</b> Canales y curvas que el productor tenía previo a este estudio.....	41
<b>Figura 16.</b> Determinación del movimiento natural del agua a partir de la interpretación de las curvas a nivel.....	42
<b>Figura 17.</b> Ubicación de los reservorios en las líneas clave .....	43
<b>Figura 18.</b> Curvas a nivel marcadas en el sitio de estudio. ....	44

<b>Figura 19.</b> Controles de torrentes en la parte alta del terreno.....	45
<b>Figura 20.</b> Pérdidas de agua en $m^3$ por fecha monitoreada en finca El Salto.....	46

## LISTA DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Hoja para el etiquetado de las muestras de suelo. ....	58
<b>Anexo 2.</b> Hoja de precipitaciones para los meses de Octubre a Enero 2015. ....	58
<b>Anexo 3.</b> Registro de datos para realizar las prueba de infiltración. ....	58
<b>Anexo 4.</b> Tabla para determinar la estructura del suelo. ....	59
<b>Anexo 5.</b> Hoja de registro para el monitoreo del pozo, finca El Salto. ....	60
<b>Anexo 6.</b> Resultados del muestreo de la FHIA, para los sitios “1 y 2”. ....	60
<b>Anexo 7.</b> Resultados de la variable de textura y tabla comparativa de los nutrientes en el suelo, el cual utiliza el laboratorio de la FHIA. ....	61
<b>Anexo 8.</b> Tabla de El Suelo Ideal, para la saturación de bases en la mayoría de las plantas. Fuente: Albrecht et al. (1960). ....	61
<b>Anexo 9.</b> Hongos encontrados en las trampas de arroz después de 7 días. ....	61
<b>Anexo 10.</b> Cromatografías en papel, según Restrepo y Pinheiro (2011). ....	62
<b>Anexo 11.</b> Evaluación y monitoreo del pozo, finca el salto. ....	62
<b>Anexo 12.</b> Diseño establecido, agua y suelo cosechado. ....	62

**Velásquez Mejía, E. W. 2016.** Diseño hidrológico con método de línea clave para la cosecha de agua y suelo en una finca del Corredor Seco Hondureño, San Matías El Paraíso. Tesis Licenciatura en Manejo de Recursos Naturales y Ambiente. Universidad Nacional de Agricultura. Catacamas, Honduras. C.A. 75 p.

## RESUMEN

El estudio se realizó en la finca El Salto, al suroeste del municipio de San Matías, El Paraíso, Honduras. Se basó en un diseño hidrológico con el método de línea clave para la cosecha de agua y suelo y a la vez recargar los acuíferos y mantener la humedad en el terreno durante épocas secas. El diseño se desarrolló en cuatro etapas: (i) Identificación del potencial de captación y propiedades físicas, químicas, biológicas y cualitativas del suelo. (ii) Análisis del movimiento natural del agua y diseño hidrológico del terreno. (iii) Implementación del diseño hidrológico en el terreno. (iv) Elaboración de una guía de implementación del diseño hidrológico en línea clave. Los resultados indicaron que el suelo tiene niveles de fertilidad por debajo de los rangos normales de un suelo fértil, además el potencial de retención de la humedad es poco, indicando que la finca El Salto tiene suelos degradados en términos de propiedades físicas, químicas y biológicas. La finca tiene una zona de captación de 145,800 litros de agua por mm precipitado. El movimiento natural del agua, gran parte es dirigido por el relieve del terreno y en las partes más bajas por una serie de canales a desnivel diseñados para sacar el agua. Tomando en cuenta los aspectos anteriores, se analizó el diseño hidrológico de la finca y se realizó la implementación de una etapa que consistió en 15 canales de infiltración ubicados en curvas a nivel. Se identificaron tres líneas claves que moverán el agua de las vertientes a las laderas y a la vez conectarán los reservorios propuestos en el diseño, esto consistirá la segunda etapa de implementación. De las experiencias llevadas a cabo, se creó una guía de implementación que reúne los aspectos relevantes para montar un diseño en una pequeña finca del corredor seco. Además, esta guía contiene los posibles errores que se pueden cometer al momento de intentar analizar e implementar el diseño.

**Palabras clave:** Agroecología, conservación de suelos, curvas a nivel, *keyline* y sequía

## I. INTRODUCCIÓN

En Honduras la problemática de sequía afecta considerablemente la población, limitando la producción de alimento y el ingreso familiar, dejando una mayor pobreza. El sector agropecuario especialmente en el corredor seco los problemas se agudizan por la falta de agua, debido a que no existe una población preparada para enfrentar tales fenómenos, lo que trae como consecuencia la venta de sus fincas por ausencia de conocimiento técnico y migración de las familias del campo a la ciudad, mismas que bajo circunstancias precarias se ven reflejadas en los cinturones de pobreza de las ciudades en el país.

En otras instancias, esta problemática desencadena una serie de complicaciones sociales que se inclinan a la falta de acceso a la educación. Además, se podría hacer un razonamiento lógico más a profundidad, sin embargo radicaría en las políticas públicas que integran al sector agropecuario para reducir los niveles de inseguridad alimentaria.

Por la problemática planteada, se propone el actual estudio de implementación del método de diseño hidrológico en línea clave (*keyline*), el cual tiene sus bases en la recolección de agua lluvia en el terreno mejorando la humedad en las áreas productivas. Con este estudio se busca apoyar a los productores que han tenido pérdidas económicas y disminuir el éxodo de las personas en cierta medida, y así hacer más fructíferos sus suelos ya que en el país para 1990 el sector agrícola aportaba el 20 % del PIB y en los últimos años se ha reducido hasta un 12% del mismo, por falta de asesoría técnica en las zonas rurales (BCH s.f; citado por Molina 2010).

## **II. OBJETIVOS**

### **2.1. General**

Establecer un diseño hidrológico con el método de línea clave para la cosecha de agua y suelo en una finca del corredor seco hondureño, San Matías, El Paraíso

### **2.2. Específicos**

- a. Identificar el potencial de captación de agua y las variables del suelo en el sitio de estudio
- b. Analizar el diseño hidrológico del terreno en línea clave a partir del movimiento natural del agua
- c. Implementar el diseño hidrológico en línea clave en el sitio de estudio para la cosecha de agua y suelo
- d. Generar una guía de implementación del diseño hidrológico para fincas con problemas de sequía en el corredor seco hondureño

### **III. REVISIÓN DE LITERATURA**

#### **3.1. Definición**

Esta tecnología de diseño hidrológico con línea clave se fundamenta en capturar la lluvia en un campo de recolección mediante un diseño hidrológico de conducción a tanques, embalses o reservorios de forma óptima. Así como también, el infiltrado lento en terreno para beneficio del suelo (cosecha de suelo) y de las plantas.

#### **3.2. Relación disponibilidad de agua y bosque**

Los bosques son una gran cubierta vegetal para las cuencas de captación que suministran agua. Además, reducen los riesgos asociados al agua, como los deslaves, las inundaciones locales y la sequía, además ayudan a prevenir la desertificación y la salinización.

#### **3.3. Experiencias de cosecha de agua en el corredor seco de Honduras**

La Secretaría de Agricultura y Ganadería (SAG) para el 2015 implementó más de 70 proyectos para cosechas de agua en la zona del “corredor seco” de Honduras. Los sistemas de cosecha que utilizaron en estos proyectos fueron los siguientes: Tanques tipo Zamorano, geo membranas, entre otras estructuras para mitigar los efectos de sequía. Además existe un diseño hidrológico en línea clave que se hablará más de él, en este documento.

### **3.4. Diseño hidrológico en línea clave**

Este diseño permite aprovechar al máximo el agua de lluvia, para ello se estudia y se modifica la topografía del terreno, identificando cual es la curva del terreno que mejor se acomoda para en el contorno del mismo (traslado del agua), utilizando así, infraestructuras de mínimo impacto, como surcos, canales y caminos que conducen el agua para almacenarla en la tierra, estanques y embalses de forma óptima.

#### **3.4.1. Aspectos a considerar**

Al implementar el diseño hidrológico, previamente el dueño de la finca debe conocer algunos aspectos tales como;

- Identificación del área de captación.
- Relieve.
- Información climatológica del lugar.

Cada una de estas variables a razonar, se pueden obtener haciendo uso de las herramientas de sistemas de información geográfica (SIG) o herramientas más sencillas como nivel de manguera más estacas y dibujado de las curvas en papel, para determinar el potencial de captación. Además, se puede utilizar información secundaria, así como también apoyarse de un técnico experto en la temática para que ayude a determinar la información climatológica del terreno, o mediante la fabricación de pluviómetros artesanales como información básica, los cuales permitirán conocer la precipitación pluvial del lugar.

Una vez recopilados los datos, se debe seguir a la implementación del diseño, tomando en cuenta que ya se ha analizado el potencial de captación. Este potencial, es muy importante tomarlo en cuenta porque depende de los objetivos que tiene el dueño para su terreno, debido a que se basa en identificar el movimiento natural del agua para luego ver la posibilidad de redirigir ese flujo natural mediante obras de conducción.

La implementación del diseño se puede hacer con maquinaria o de manera manual, cada diseño debe ajustarse a las condiciones económicas del propietario de la finca.

### **3.4.2. Importancia del diseño hidrológico**

Este diseño permite transportar los excedentes de agua del paisaje con el patrón de líneas claves canalizado, sin alterar el suelo, sin socavar el horizonte y creando ranuras subterráneas para que el agua se mueva con facilidad.

Por otra parte, también admite aspectos como ser, ubicación de plantas endémicas a la par del mismo diseño, manejo silvícola, induce a promover la agricultura orgánica en el terreno, crea un concepto conservacionista, permite el involucramiento de la mujer y reduce el éxodo del campo a la ciudad. Es por eso que Van y Prieto (2000) indican que el aumento de la disponibilidad de agua a través de este diseño mejora los rendimientos de la producción así como la rentabilidad y hace posible la cosecha en zonas donde no existía esta posibilidad.

## **3.5. Análisis de diseño**

### **3.5.1. La escala de permanencia**

La escala de permanencia o escala en el tiempo, fue desarrollada por el Australiano P.A Yeomans, la cual sirve para determinar las prioridades en escala, como ser; el paisaje completo de la finca y los elementos que lo van a integrar al momento de rediseñar la topografía de un terreno (clima, topografía, agua, caminos, árboles, casas, subdivisiones y la tierra). Este diseño se puede aplicar tanto al desarrollo rural de unidades productivas, como al desarrollo urbano para la planeación de pueblos o ciudades enteras.

#### **a. Factor 1. El clima**

Si bien, el clima es un elemento propio dentro de una finca, constituido por la cantidad y frecuencia de lluvias, la humedad, temperatura, vientos, otros., son casi inalterables.

Sin embargo existe un factor de gran impacto sobre el clima (y viceversa) denominado como la alcancía natural o suelo. Se habla mucho de la reforestación para mitigar el cambio climático y si bien es cierto, los árboles llegan a captar 200 ton/h de  $CO_2$ , a lo largo de 15 años o más, sin embargo, el costo de reforestación por el tiempo de crecimiento y mantenimiento es elevado, sin embargo la tierra está disponible para su cultivo (Gras 2010).

De aquí que es recomendado el manejo bajo un sistema complementario que se fundamente en el buen funcionamiento integral arbóreo, que se presenta como un medio diverso sobre el cual; entre más diverso es el mismo, mayor capacidad de resiliencia a los efectos de cambio climático existe y un mejor aprovechamiento del suelo hay.

Desde el contexto agroecológico acorde a la visión de un sistema planificado en el tiempo, es de confiabilidad tomar en cuenta el  $K_c$  (demanda de agua) de cada cultivo más el manejo adecuado del suelo, dependiente del clima.

#### **b. Factor 2. La topografía**

Consiste en la descripción de un lugar, la cual se encarga del conjunto de elementos y operaciones que tienen por objeto la representación gráfica de la superficie de la Tierra, con sus formas y detalles, tanto naturales como artificiales.

#### **c. Factor 3. El agua**

El agua y el suelo, tienen una relación netamente intrínseca, dado que su interacción modifica inmutablemente el comportamiento que existe entre ellos (las escorrentías se conducen conforme a la topografía del terreno y en un período de tiempo la van diferenciando) (Gras 2010).

Por otra parte, en cuanto a la importancia de este recurso con respecto al agro; en la agricultura a nivel global, se utiliza un 49.4% del agua, la cual se extrae de fuentes superficiales y subterráneas, mientras que la industria emplea el 35.3% y el resto corresponde a uso doméstico urbano (Cabián *et al.* 2015). Finalmente esto indica que el agua es un elemento indispensable para todo ser vivo, que conduce y produce innumerables beneficios.

- **Canal de Desviación**

Si se traza una línea clave a ambos lados del punto clave, se convierte en la guía para la construcción del **canal de desviación**, en la que el agua va ser re-distribuida uniformemente a lo largo de toda el área que cubra su distancia, en lugar de concentrarse naturalmente en los extremos (Gras 2010). Este método anula rotundamente la velocidad de la escorrentía e induce al apoyo de la gravedad. Por lo que interviene en el control total de la erosión.

- **Construcción de bordos**

La elaboración de los bordos depende de la precipitación anual *in situ*, tomando en cuenta la frecuencia, la duración y la intensidad. Pues en la planificación y diseño de obras de captación de agua de lluvia es importante conocer la probabilidad de que ocurra una cierta cantidad de lluvia en una cierta fecha. En climas templados, la desviación estándar de lluvia anual es del 10 al 20 por ciento; en 13 de cada 20 años las cantidades anuales están entre 75 y 125 por ciento de la media, sin embargo, cuando los climas son áridos y semiáridos la relación de máximas a mínimas cantidades anuales es mucho mayor y la distribución de la lluvia anual se hace creciente con un sesgo por la creciente aridez (Van 2000). De lo contrario cuando la lluvia es superior, entonces la escorrentía superficial estará en excedente y podrá sobrepasar los bordos y después resultar en un daño a las estructuras.

- **Canal de riego o línea clave (*keyline*)**

Es la forma de conducir el agua desde el punto identificado como clave, además que, las líneas que sean paralelas a ella, hacia arriba y hacia abajo ya tendrán una ligera pendiente que nos desviarán el agua de este punto por gravedad hacia las zonas más secas, las zonas de ladera y reservorios (Ruiz 2013).

**d. Factor 4. Los caminos y las áreas**

Gras (2010) lo define como una vía de movimiento, para proveer el mantenimiento de los canales y así mismo facilitar la conductividad del drenaje (área de riego) en los canales donde existen puntos con taludes bajos para posibilitar la ruptura del desagüe y así mismo reanudar los canales.

Existen 5 tipos de caminos:

1. Caminos en líneas divisorias de agua (parte aguas).
2. El camino del canal de desviación.
3. El camino de los canales de irrigación.
4. Los caminos marginales.
5. Canal de aprovechamiento.

**e. Factor 5. Los árboles**

Desde la concepción suelo, planta y atmosfera, la vegetación es un elemento fundamental; que además de climatizar y armonizar, acumulan biodiversidad y energía, forjada de dióxido de carbono  $CO_2$  y agua en la células ( $O_2$ ). Ruíz (2013) señala que los árboles tiene gran importancia debido a que dejan las raíces dentro del suelo ayudando a conservar carbono orgánico en la superficie, que a su vez conservará más agua, a razón de 144.000 L por hectárea por cada 1% de carbono orgánico.

### **3.5.2 Capacidad de captación**

Para un planificador en captación de agua de lluvia, la tarea más difícil es seleccionar el diseño apropiado de acuerdo a la lluvia. Los datos importantes se obtienen de las estaciones meteorológicas que cuenten con datos de precipitación mensual de por lo menos diez años (Anaya 1994; citado por Van 2000).

#### **a. Recarga de acuíferos**

La lluvia conocida en un área de captación, comprende diversos factores que se deben considerar, como ser las pérdidas por evaporación y escorrentía. Además de la infiltración que es considerado ganancia para este trabajo, que a su vez se convierte en recarga de acuífero.

Los acuíferos se comportan como si fuera un embalse, en donde hay que considerar: un caudal de entrada, un caudal de salida, una capacidad de almacenamiento y regulación, el cual debe ser capaz de almacenar y transmitir agua en cantidad susceptible de ser explotada económicamente. Cuando lo anterior no se cumple como por ejemplo, en las formaciones arcillosas que son capaces de almacenar grandes cantidades de agua, no la transmiten con facilidad, por lo que no pueden ser considerados como acuíferos (Fuentes 1993).

## **3.6. Propiedades físicas del suelo**

### **3.6.1. Humedad del suelo**

Existe una relación intrínseca entre la humedad del suelo con las variables climáticas y de cobertura, que están asociadas a la temperatura, la precipitación, y la humedad (elementos), las cuales determinan las características del clima que a su vez influyen en el tipo de vegetación y en las características del suelo.

Los suelos que reflejan la acción del clima se llaman zonales, y aquellos que no reflejan la acción del clima por ser de reciente formación se le llaman a zonales. La vegetación actúa como cubierta protectora del suelo, impidiendo la acción directa de los elementos del clima y la variabilidad climática, además contribuye a disminuir el grado de erosión de los suelos, así mismo el componente orgánico de los suelos está integrado básicamente por humus, en la cual está formada principal mente la fertilidad de los suelos.

Sin embargo, para medir la humedad del suelo existen varios métodos, entre ellos el método volumétrico, tensiómetro, bloques cerámicos y el método gravimétrico. Este último consiste en determinar el contenido de humedad del suelo como el peso del agua dentro de la matriz del suelo. Se evalúa como la diferencia de peso entre una muestra de suelo húmeda y seca.

### **3.6.2. Estructura**

La estructura del suelo afecta directamente la aireación, el movimiento del agua en el suelo, la conducción térmica, el crecimiento radicular y la resistencia a la erosión. El agua es el componente elemental que afecta la estructura del suelo con mayor importancia debido a su solución y precipitación de minerales y sus efectos en el crecimiento de las plantas (FAO, s. f). Para medir la estructura del suelo se puede hacer a través del método, estructura al tacto o través de tablas comparativas, como ser la tabla de Hulak (1981).

### **3.6.3. Textura**

Esta propiedad es muy importante ya que influye como factor de fertilidad y en la habilidad de retener agua, aireación, drenaje, contenido de materia orgánica y otras propiedades. Mientras más fina sea la textura del suelo, más arcilla y limo tendrá y menos arena va a contener. Mientras más materiales de grano fino, más grande es la superficie de la tierra. Con el aumento de área de la superficie, el suelo tendrá una mayor capacidad para retener el agua. Por ejemplo, un suelo de arena de playa no mantiene bien el agua, pero un suelo con una gran cantidad de arcilla puede absorber una gran cantidad de agua.

Uno de los problemas con los suelos arcillosos y la humedad es que a pesar de que tienen más agua, pueden retenerla más fuerte para que las raíces de las plantas absorban. En estos casos, la fuerza de atracción de las pequeñas partículas de arcilla es mayor que la de las raíces de las plantas.

La textura del suelo se puede conocer en laboratorio, que comúnmente puede ser con los métodos de Bouyoucos y la pipeta, así como también en campo, el cual consiste en el método de textura a mano que se compara con una tabla.

#### **3.6.4. Densidad aparente**

La densidad aparente se puede ver afectado o alterado estacionalmente por efecto de labranzas y humedad del suelo sobre todo en los suelos con arcillas expándete (Taboada y Álvarez 2008). Es decir, cuanto mayor la densidad, menor el espacio poroso para el movimiento del agua, por consiguiente, menor crecimiento y penetración de raíces.

Se calcula así:

Da:

$$\text{Densidad aparente} = \left( \frac{\text{masa}}{\text{Volumen total del suelo}} \right) \text{ medida en g/ml}$$

$$V = \pi r^2 h$$

Donde:

V = volumen

r = radio

h = altura

#### **3.6.5. Porosidad**

Mientras más denso es un suelo, más espacio tiene entre las partículas para retener el agua. Un suelo con mucha arcilla tendrá más espacios totales entre las partículas que un suelo muy arenoso.

Esto es debido a que el volumen de todos los pequeños espacios entre las partículas de arcilla excede el volumen de los espacios más grandes entre las partículas de arena. La humedad se lleva a cabo de forma más segura en pequeños espacios entre las partículas debido a la fuerza capilar de líquidos. En grandes espacios de poros, la gravedad puede drenar más fácilmente la humedad de un suelo.

Por lo tanto, para calcular la porosidad del suelo expresada en %, derivamos de la relación entre la densidad real y la densidad aparente (determinada en el inciso anterior) y se calculan de la siguiente manera:

$$\% \text{ de porosidad} = 100 - \left( \frac{\text{Densidad aparente}}{\text{Densidad real}} \right) \times 100$$

Constante de la densidad real: 2.65 g/cm<sup>3</sup>

La importancia sobre calcular la porosidad, es para conocer la capacidad de oxigenación, movimiento del agua, movimiento de nutriente y los gases que pueden circular o retenerse.

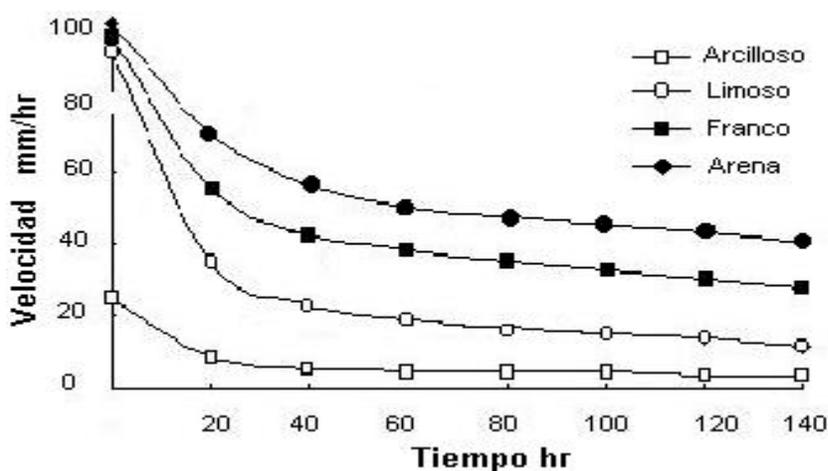
### **3.6.6. Color del suelo**

El color del suelo refleja la composición así como las condiciones pasadas y presentes de óxido-reducción del suelo. Es decir, que está determinado generalmente por el revestimiento de partículas muy finas de materia orgánica unificada (oscuro), óxidos de hierro (amarillo, pardo, anaranjado y rojo), óxidos de manganeso (negro) y otros, o puede ser debido al color de la roca parental (FAO 2009).

### **3.6.7. Infiltración**

La infiltración depende de la textura y estructura del suelo, así como del contenido de materia orgánica. Existen otros factores externos que inciden sobre la infiltración como por ejemplo el laboreo realizado sobre terreno.

Además, es una variable física que permite conocer la velocidad de penetración del agua en el suelo, normalmente expresada a través de un gráfico que relaciona la profundidad (cm) respecto al tiempo (Figura 1).



**Figura 1.** Curvas de infiltración, según la textura del suelo (Pizarro *et al.* s.f).

### 3.7. Características químicas del suelo

#### 3.7.1. Materia orgánica

De acuerdo con Inforganic (2004) al haber materia orgánica, disminuye la densidad aparente del suelo (por tener una menor densidad que la materia mineral), contribuye a la estabilidad de los agregados, mejora la tasa de infiltración y la capacidad de retención de agua. Además, se caracteriza por tener una estructura celular abierta.

Las partículas de cortezas o corcho o las fibras vegetales tienen células en su interior que contribuyen a aumentar la porosidad del suelo (porcentaje de poros), es decir, aumenta el número de poros que son capaces de retener agua o aire sin aumentar el volumen total de suelo. Los espacios vacíos que se forman en la interface entre las partículas orgánicas y minerales pueden contribuir al aumento de la conductividad hidráulica del suelo.

Debido al efecto físico del tamaño de las partículas, la materia orgánica aumenta la capacidad de retención de agua de suelos arenosos y aumenta la capacidad de aireación de suelos arcillosos. Tolera mejor los efectos mecánicos del paso de maquinaria por tener una mayor elasticidad que la materia mineral. Al cohesionar los suelos arenosos contribuyen a reducir las pérdidas de suelo por erosión superficial.

### **3.8. Propiedades biológicas del suelo**

Diversas funciones dependen de la actividad biológica: Las transferencias de nutrientes del suelo a la planta, la disolución de los minerales provenientes de la roca madre, la mineralización de las materias orgánicas, la estabilización de la estructura del suelo por el sintetizado de sustancias orgánicas, la cohesión de los agregados y la formación de galerías para airear y dar porosidad. En consumación, la actividad biológica tiene consecuencias directas en las propiedades físicas y químicas de los suelos.

La cuantificación y la calificación de la actividad biológica es indispensable para optimizar el potencial del suelo y de las plantas, para ello existen metodologías claras, como ser la del monolito (TSBF) (Bignell *et al.* s.f).

### **3.9. Propiedades cualitativas del suelo**

#### **3.9.1. Cromatografía en papel**

Según Restrepo y Pinheiro (2011) la cromatografía es un método cualitativo y físico de separación en distintos componentes de una mezcla para la debida caracterización de composiciones complejas, con la aplicación en todas las ramas de la ciencia. Está compuesto por un conjunto de técnicas basadas en el principio de retención selectiva, cuyo objetivo es separar los distintos componentes (calidad del suelo, manifestación del agua, oxigenación, humus) de una mezcla para identificar y en muchos casos determinar las cantidades de dichos componentes (Bakker y Bakker 2008).

## **IV. MATERIALES Y METODOS**

### **4.1. Materiales y equipo**

Para identificar el área de captación y las variables del suelo se utilizaron; receptor GPS (Garmin Etrex 10), software de SIG, piocha, Machete, materiales para análisis de suelo en campo.

En el análisis del Diseño hidrológico se utilizaron; nivel de manguera, estadías, cinta métrica, Pintura (cal), estacas, software de SIG, Excel, Word, PowerPoint, infoStat, receptor GPS (Garmin Etrex 10), machete, papel bond, rotuladores de diferentes colores.

En la implementación del diseño se manipularon; cuerda, piocha, pala, azadón, machete, hacha y otros.

Para generar la guía de implementación se utilizó; información primaria y secundaria, software de SIG, Word.

### **4.2. Metodología**

#### **4.2.1. Descripción del sitio de estudio**

La finca El Salto es un terreno que está ubicado en el corredor seco hondureño, situado a 20 minutos del municipio de San Matías, El Paraíso. Se encuentra a una altura de 780 msnm con precipitaciones medias anuales de 1109 mm y con temperaturas medias de 23.79 °C (Figura 2). Dicho terreno presenta un tipo de relieve ondulado de carácter específico, que en su reseña

histórica (década de los 70 y 80 la finca), El Salto experimentaba un clima agradable, con temperaturas de menor intensidad y las precipitaciones con mayor frecuencia<sup>1</sup>.

Su valor productivo era muy concurrente, en granos básicos y hortalizas, el laboreo era bastante significativo (arado de bueyes y algunas veces tractor incluyendo el barbecho). Sin embargo como toda finca presentaba problemas en común. En aquel entonces se suscitaba el apoyo por parte de los técnicos de la Secretaría de Recursos Naturales, promoviendo técnicas de manejo agrícola incluyendo obras de conservación de suelos.

Por consiguiente, el productor se capacitó en temas de interés, visitaron su finca y realizaron prácticas de conservación de suelos, así mismo, entre tanto los técnicos identificaron que su mayor problema era el encharcamiento. Por lo tanto, sin más premisas, recomendaron que para dar desenlace a ese asunto se tenían que realizar zanjas a desnivel para poner fin a los pantanos<sup>2</sup>.

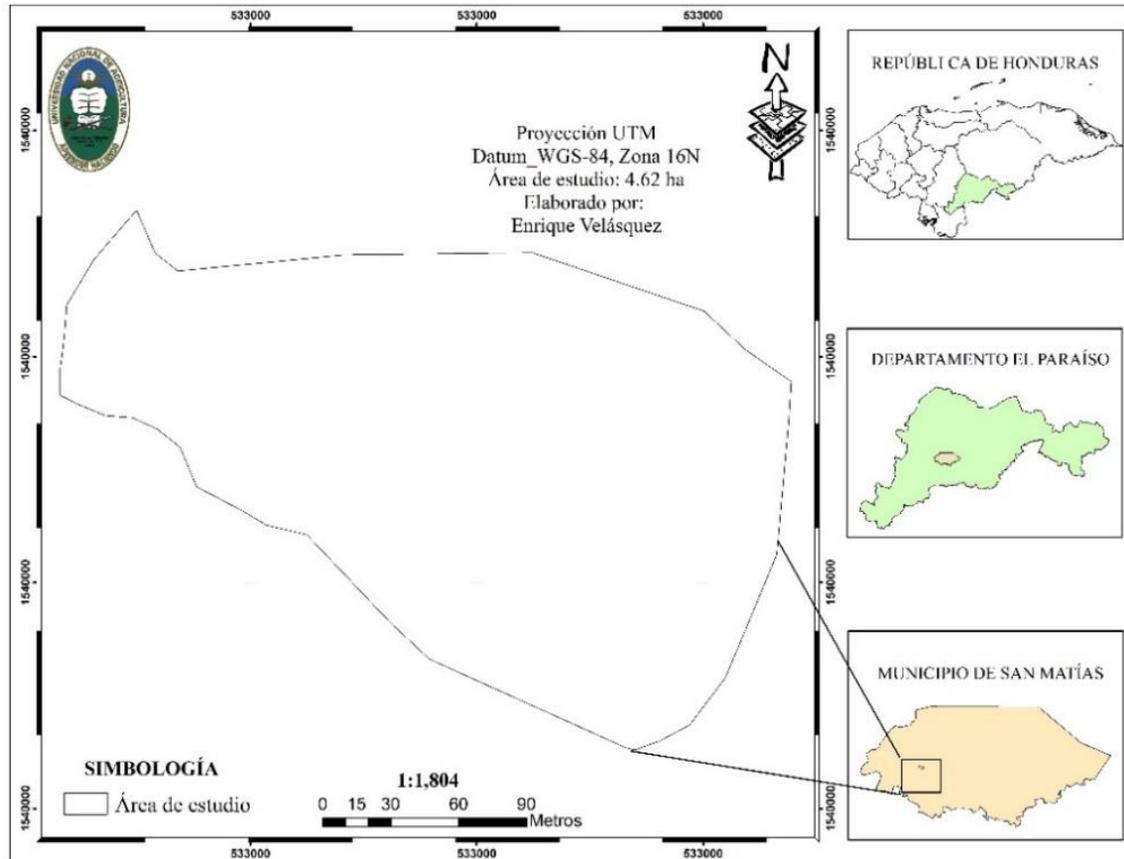
Este terreno fue abandonado por parte del productor hace 26 años aproximadamente, ha estado sin ninguna actividad productiva y debido a la escasez de agua ya no es muy fructífero<sup>3</sup>. Un pozo del cual suministraban agua, para épocas secas es limitado y el manejo que se le ha venido dando a la finca es el barbecho.

---

<sup>1</sup> Entrevista a Austolia Blandón. Realizada el 16 de diciembre de 2015 en la ciudad de Danlí, El Paraíso. Entrevistador: Enrique Velásquez (tesista).

<sup>2</sup> Entrevistas a Austolia Blandón., Melvis Escoto Sr., Erlin Escoto., Wil Escoto., otros. Realizada entre los meses de Octubre, Noviembre y Diciembre de 2015 en la ciudad de Danlí y la finca El Salto, San Matías, El Paraíso. Entrevistador: Enrique Velásquez (tesista).

<sup>3</sup> Entrevista a Melvis Escoto Sr. Realizada el 27 de marzo de 2016 en la finca El Salto, San Matías, El Paraíso. Entrevistador: Enrique Velásquez (tesista).



**Figura 2.** Ubicación geográfica del sitio de estudio en el municipio de San Matías, El Paraíso, Honduras.

### 4.3. Proceso metodológico

El proceso metodológico se desarrolló en cuatro etapas:

Etapa 1: Potencial de captación y propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

Etapa 2: Movimiento natural del agua y análisis de diseño hidrológico del terreno.

Etapa 3: Implementación del diseño hidrológico en el terreno.

Etapa 4: Manual de implementación del diseño hidrológico en línea clave.

Previo a iniciar el proceso metodológico se realizó una prospección del sitio de estudio ya que fue importante conocer las fuentes de información meteorológica, el área potencial de captación (mediante herramientas de SIG) y las formas del relieve (valle, ondulado, escarpado). Así mismo, se elaboró un pluviómetro artesanal para medir la cantidad de precipitación caída durante el periodo de tiempo que duró el estudio.

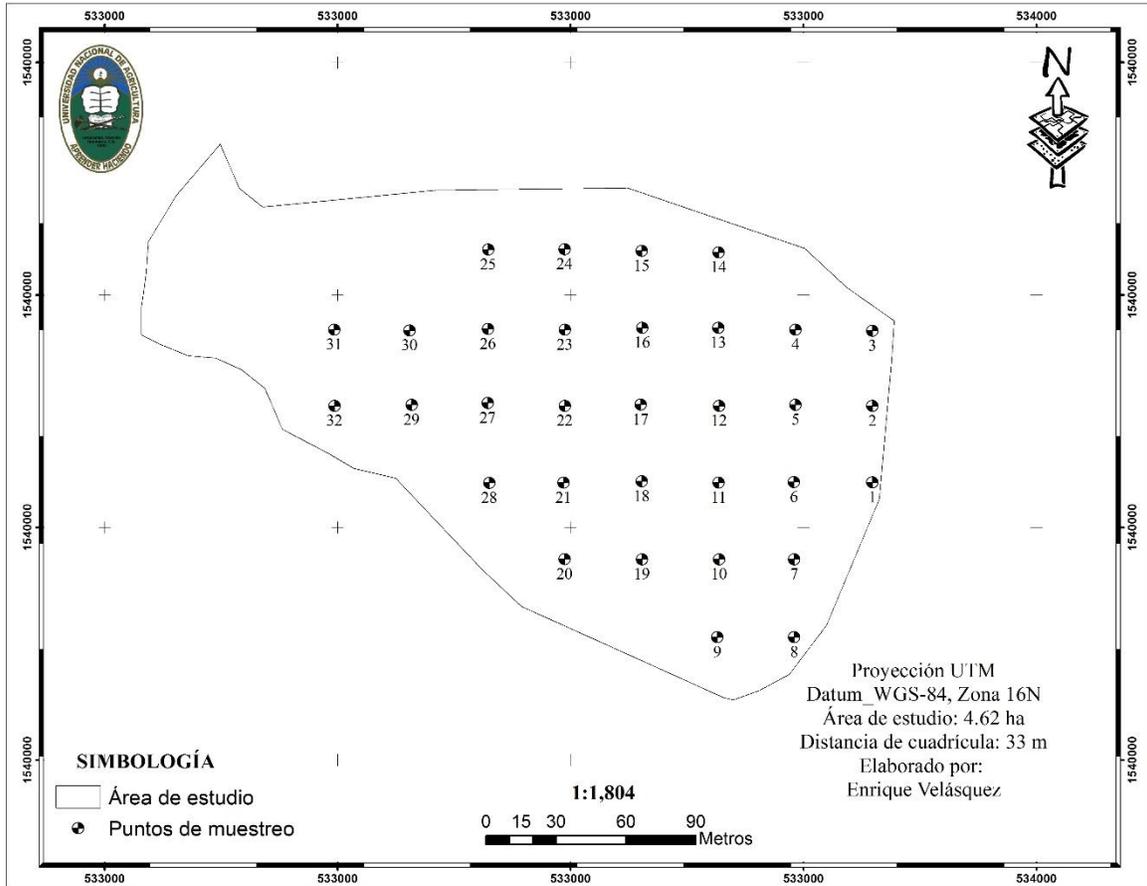
#### **4.3.1. Etapa 1: Potencial de captación y propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo**

Para determinar el potencial de captación se identificó el área de recarga del terreno y se delimitó ya que su relieve tiene un parte aguas bien definido. Así mismo previo a delimitar el terreno en la finca (con receptores de GPS Garmin Etrex 10), se hizo una aproximación con herramientas de SIG para conocer el área potencial de captación. Conocer esta área fue importante, ya que permitió estimar el dimensionamiento de las obras que se hicieron en el diseño hidrológico de la finca.

Las variables físicas, químicas y biológicas se midieron en un solo momento, a excepción de la variable de humedad (variable física) que se midió constantemente durante el estudio.

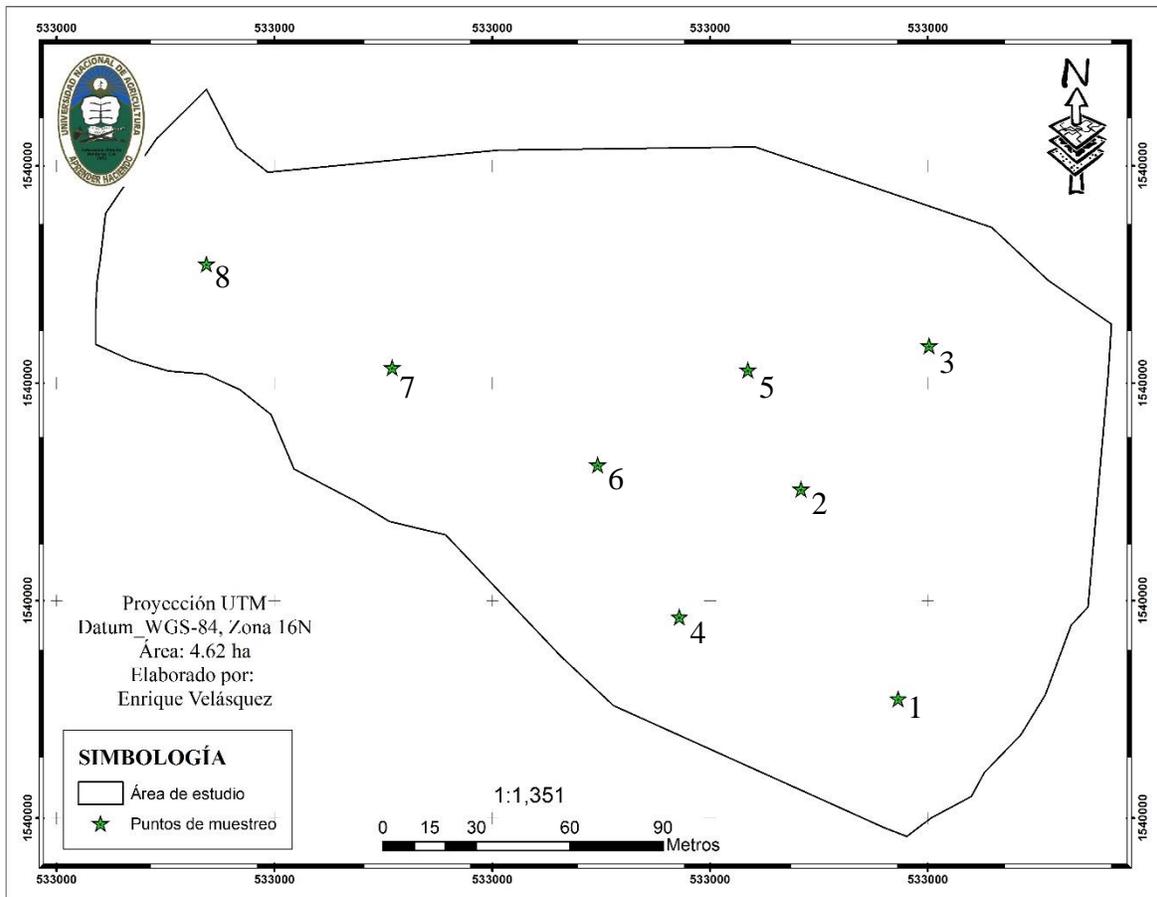
Las propiedades físicas del suelo se determinaron mediante un muestreo sistemático.

Para ello, se insertó una cuadrícula sobre el terreno y cada intersección se marcó como punto de muestreo, donde se extrajeron las coordenadas geográficas para posteriormente buscarlas con un receptor de GPS en el sitio de estudio. Se consideró para este trabajo seleccionar 32 puntos de muestreo y las variables a medir en cada punto fueron: estructura del suelo, humedad gravimétrica, densidad aparente, porcentaje de porosidad, estructura y color del suelo (Figura 3).



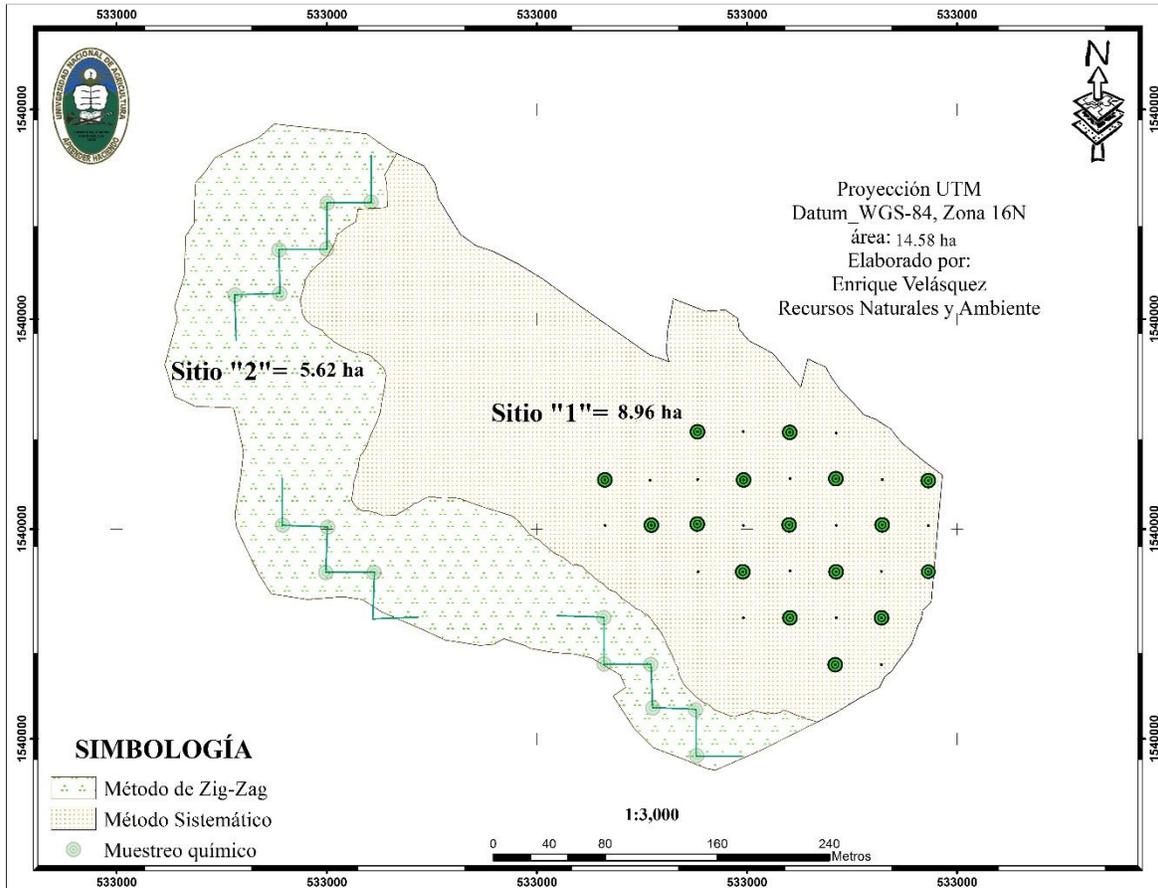
**Figura 3.** Ubicación de los puntos de muestreo para la obtención de las propiedades físicas del suelo en la finca de El Salto

Además, se realizó cromatografía en papel, para ubicar los puntos de muestreo en el área de estudio (Figura 4), para el respectivo procesamiento y análisis de los datos se tomó en cuenta el relieve del terreno (ondulado).



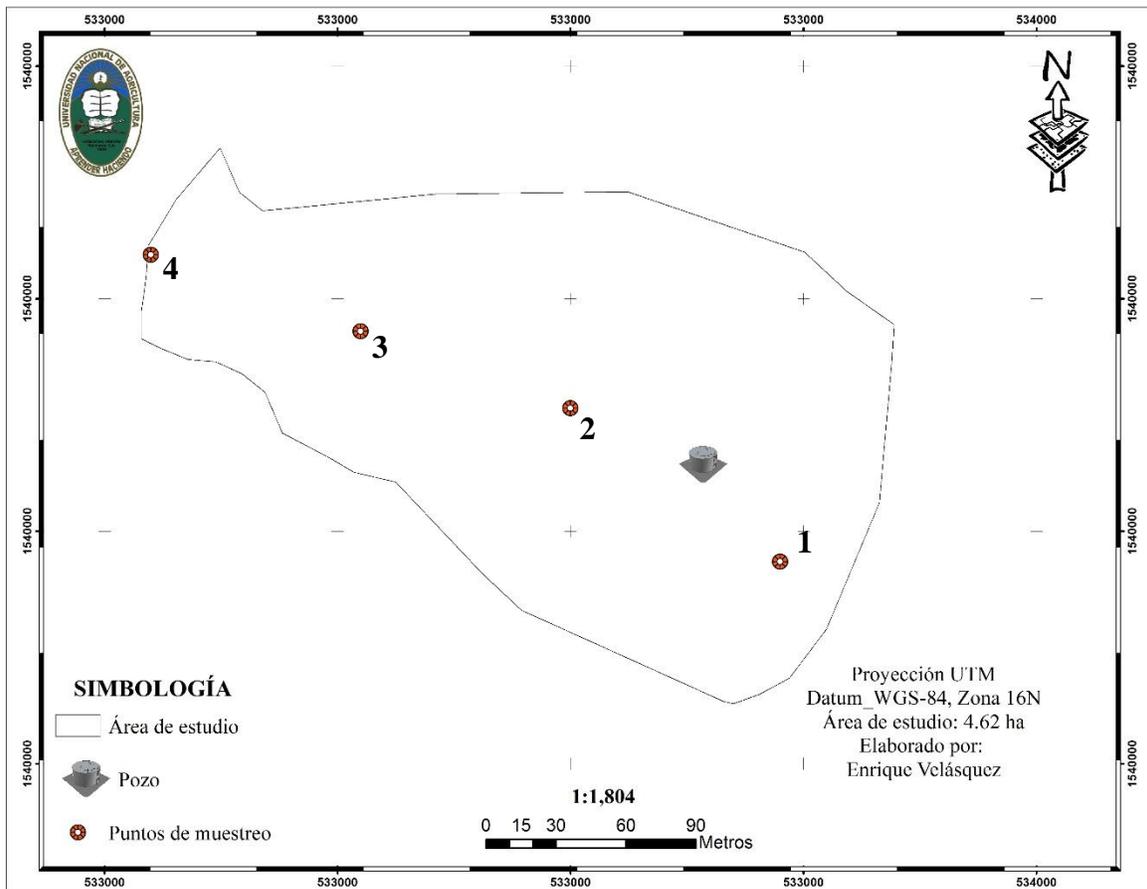
**Figura 4.** Puntos de muestreo para el procesamiento y análisis de cromatografía en papel de la finca El Salto

Para las variables químicas del suelo, se tomaron dos muestras bajo un esquema estratificado mediante el uso del suelo dentro del parte aguas: en el sitio “1” con uso de suelo pastos y cultivos, bosque latifoliado deciduo se utilizó el método sistemático o estratificado y el sitio “2” en la rívera del terreno con uso de suelo árboles dispersos fuera de bosque, bosque conífero denso y vegetación secundaria decidua se hizo bajo el método de zig-zag. Cada muestra se conformó por 16 submuestras en el terreno (Figura 5). Estas muestras fueron enviadas al laboratorio de suelos de la FHIA con el fin de obtener resultados de macro y micronutrientes y además su textura mediante el método del Bouyoucos en el mismo laboratorio.



**Figura 5.** Ubicación de los puntos de muestreo para las propiedades químicas del suelo (sitio “1 y 2”) y la propiedad física de textura (Sitio “1”) en la finca El Salto

Además de las variables anteriores, se evaluó el estado de infiltración y monolito (TSBF) en el área de estudio, también se realizó un análisis cualitativo mediante la técnica de trampas para microorganismos es decir hongos y bacterias, con el fin de cualificar la presencia y estimar su tipo dentro de la misma zona. Para ello, se seleccionaron cuatro puntos de muestreo bajo el criterio técnico de la topografía, considerando que las curvas se encuentran a un metro de altura entre una y otra. Por consiguiente, estos puntos se colocaron a cada cuatro metros o curvas. También se hizo el monitoreo de la cantidad de agua de un pozo ubicado en la finca (Figura 6).



**Figura 6.** Ubicación de los puntos de muestreo para la obtención de propiedades cualitativas en la finca El Salto

### a) Estructura

Para la determinación de la estructura, se utilizó la metodología de Hulak (1981). Se tomó una muestra de suelo, procurando mantenerla en forma original hasta que se procedió a manipularlo. Se presionó ligeramente al principio y poco a poco se aplicó mayor presión para permitir que se rompiera. Cuando la muestra de suelo cedió, se identificó la estructura a través de la forma que adoptó conforme a como lo establece la tabla (Anexo 4).

## **b) Humedad gravimétrica del suelo**

Se midió bajo el método gravimétrico, se pesó cada muestra de suelo en campo (PSH), posteriormente se secó la muestra en un microondas ya calibrado y estas se pesaron nuevamente para obtener el peso seco (PSS). Para ello, se empleó la fórmula para determinar el porcentaje de humedad.

$$\% \text{ de Humedad} = \frac{\text{PSH} - \text{PSS}}{\text{PSS}} \times 100$$

Donde:

**PSH**= Peso de suelo húmedo

**PSS**= Peso de suelo seco

Finalmente con los datos obtenidos se utilizó la metodología de densidad de Kernel y un método de interpolación (IDW: Inverso ponderado por la distancia) para la presentación de la variable. Lo anterior indica que, el objetivo del método fue observar el gradiente de humedad en el terreno durante el tiempo medido.

## **c) Textura**

La determinación de la textura se realizó en el laboratorio de la FHIA. En el campo, esta muestra surgió a partir del muestreo químico para el sitio “1, bajo el método sistemático y uso de suelo pres escrito anteriormente.

## **d) Densidad aparente**

Se utilizó la metodología de Donald y Lobo (2000). Con la ayuda de un martillo y un pedazo de madera se introdujo un cilindro de 9.5 cm de largo por 4.5 cm de diámetro, luego con una piocha se retiró el cilindro y se cortó el suelo sobrante de los extremos, próximamente se procedió a sacar el suelo del cilindro y se colocó en una bolsa transparente con su respectiva

etiqueta. Posteriormente, se procedió a secar la muestra en un microondas (Mastertech<sup>®</sup>, modelo MTD201A6) ya calibrado y se continuó a calcular la densidad aparente aplicando la siguiente ecuación:

$$\text{Densidad aparente} = \left( \frac{\text{masa}}{\text{Volumen total del suelo}} \right) \text{ medida en g/ml}$$

$$V = \pi r^2 L$$

#### **e) Porosidad**

Para la medición de esta variable se hizo uso de la fórmula de densidad aparente (inciso anterior) más la siguiente:

$$\% \text{ de porosidad} = 100 - \left( \frac{\text{Densidad aparente}}{\text{Densidad real}} \right) \times 100$$

Siempre tomando en cuenta que la densidad real es igual a: 2.65 g/cm<sup>3</sup>

#### **f) Color del suelo**

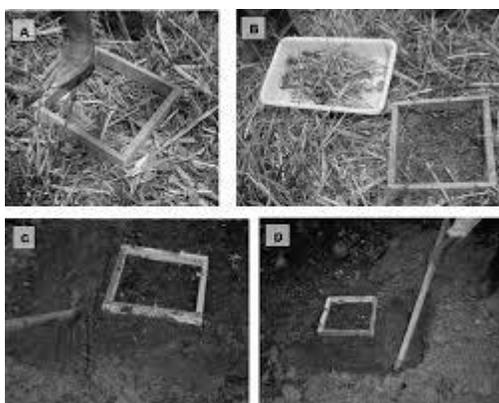
Para determinar esta propiedad se hizo uso de una muestra de suelo, sacada a unos 5 cm de profundidad por cada punto (32 puntos), luego se realizó una comparación de los mismo con la matriz de colores de la tabla de Munsell, obteniendo así, la nomenclatura y color con mayor predominancia en el terreno.

#### **g) Hongos**

En un vaso plástico, se colocó una pequeña cantidad de arroz (al diente), con una malla fina se procedió a taparlo. Posteriormente se abrió un agujero en el suelo a modo que el vaso se pudiera introducir, después se tapó con hojas secas del lugar y se dejó por un periodo de 7 días en los puntos correspondientes, posteriormente se retiró la trampa, en esta medida finalmente en acompañamiento de la literatura se verificó la ausencia o presencia de hongos.

## h) Macro organismos

Para este parámetro en cada punto de muestreo, se recogieron bloques de suelo de 0-10 y de 10-20 cm de profundidad según la metodología TSBF (Tropical Soil Biology and Fertility) (Anderson e Ingram 1993). Se midió un marco de 25 x 25 cm para marcar la posición del monolito, luego se cavó una zanja a su alrededor de 25 cm de ancho y 20 cm de profundidad, aislando el monolito como un pilar no perturbado. En dos de las muestras, el suelo presentó una textura arenosa, por lo tanto con el monolito no se pudo extraer la muestra como pilar no perturbado, por lo tanto se hizo rápidamente el agujero y se sacó la tierra, próximamente se colocó sobre un saco para contar los macro organismos (Figura 7). Después se hizo una clasificación de los diferentes macro organismos encontrados en cada uso de suelo (Figura 6).



**Figura 7.** Esquema para la extracción del volumen de suelo en el estudio realizado en la finca El Salto

**Tabla 1.** Clasificación FAO (1981), para la densidad de macro organismos

-	<b>Nulo</b>	No se observa ningún organismos ( solo en casos excepcionales)
+	<b>Bajo</b>	Se observa de entre 1 – 20 organismos
++	<b>Moderado</b>	Se observan entre 21 – 60 organismos
+++	<b>Alto</b>	Se observan más de 60 organismos

### **4.3.2. Etapa 2: Movimiento natural del agua y análisis del diseño hidrológico del terreno**

Para conocer el movimiento natural del agua se determinaron las curvas a nivel del terreno, estas se obtuvieron haciendo uso de un nivel de manguera más un receptor de GPS y las herramientas de sistemas de información geográfica.

Una vez que se obtuvieron todas las curvas, se procedió a identificar el movimiento natural del agua (vertientes y laderas) y sus pendientes dentro del terreno, mediante el uso de papel bond más un proyector se rotuló las curvas y el parte aguas. Teniendo identificado por donde se mueve el agua y el objetivo de uso del terreno el cual consistió en un diseño para infiltración, se prosiguió a realizar el diseño hidrológico en línea clave. Las obras y el dimensionamiento con que se realizaron dentro del diseño, dependieron del mismo objetivo.

#### **a. Trazado de curvas a nivel y georreferenciación**

- Con dos estadías graduadas en pulgadas y pies, se tomó la manguera con agua y se procedió a calibrarla.
- Seguidamente se ubicó el punto donde se deseó comenzar la sección, se marcó con una estaca pintada de cal (parte inferior). A partir de este punto se fijó la primer estadia o estadia de mando.
- Una vez que se ubicó la estadia en el primer punto, se colocó la siguiente en el otro extremo hasta encontrar el nivel, seguidamente se estableció el punto con una estaca (la distancia recorrida dependió de las características topográficas del terreno).
- Esta metodología se utilizó hasta que finalizó la curva a nivel.
- Para comenzar la siguiente curva, debido a la pendiente que contiene el terreno se tomó el criterio de realizarlas a 1 metro de altura.
- La cantidad de curvas trazadas dentro del terreno dependieron de las consideraciones prescritas. (pendiente y área del mismo).
- Finalmente se georreferenció cada estaca de todas las curvas utilizando un receptor GPS.

## **b. Elaboración y análisis del diseño en papel**

- Con los puntos que se tomaron en campo mediante el receptor GPS, se elaboró un mapa de representación del perímetro y las curvas a nivel.
- Una vez que se elaboró el mapa, se procedió a realizar el análisis con respecto a las curvas e identificar las vertientes y laderas del terreno, logrando con esto, ubicar las líneas claves del mismo.
- Una vez que se realizó el análisis, se consideró realizar siete reservorios en puntos de inflexión con el fin de coleccionar agua y mover humedad de las vertientes a las laderas a través de los canales.
- Para futuras obras en la guía de implementación se planteó reforestar el perímetro de cada reservorio, así como también la propuesta de un diseño de cultivo adaptado al terreno.

### **4.3.3. Etapa 3: Implementación del diseño hidrológico en el terreno**

Una vez realizado el diseño hidrológico de línea clave en papel se procedió a implementar el diseño en el terreno. Este trabajo se hizo de manera manual, se colocó una cuerda color rojo (para su visibilidad) de estaca a estaca o puntos de referencia del nivel, y se procedió a elaborar los canales, utilizando para ello; piocha, pala y algunas veces hacha para sacar las raíces de algunos troncos que obstruían el paso del canal. Además dentro de las obras físicas también se construyeron los reservorios, estos surgieron a partir de la interpretación de las curvas, el análisis del diseño hidrológico y los datos de precipitación para el sitio, colocando así los reservorios en los puntos que indicó el diseño.

Por otra parte, se consideró que el terreno contiene zonas escarpadas en la parte superior del mismo, no obstante, se razonó que al llover, este suelo podría ser una amenaza para el diseño de canales en la parte baja, considerando que las lluvias para el sector seco son menos frecuentes pero con mayor intensidad. Por consiguiente, se realizó una visita al sitio con dos objetivos que finalmente fueron condiciones, uno era identificar las zonas de intersección, donde ganaba mayor velocidad la escorrentía y el otro era ubicar esos puntos (GPS) que producían un aumento o suma tributaria para la escorrentía principal.

Producto de esa observación se consideró a bien construir controles de torrentes, los cuales fueron hechos de piedra y alturas variables (la altura fue dependiente del área de escurrimiento). El ancho de cada muro de piedra se adaptó al terreno, solamente se tuvo precaución de dejarlo a nivel.

#### **4.3.4. Etapa 4: Guía de implementación del diseño hidrológico en línea clave**

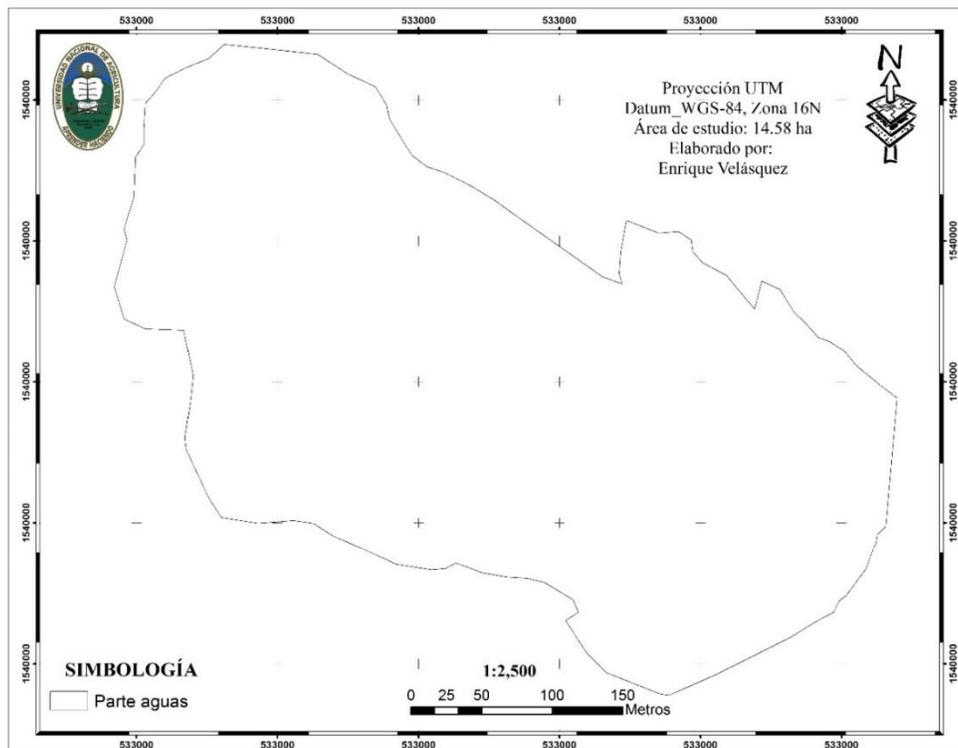
Para documentar la experiencia obtenida en este estudio se editó una guía de implementación del diseño hidrológico en línea clave para fincas con problemas de sequía en el corredor seco hondureño. Esta guía contiene los procedimientos que se deben realizar para montar un diseño en una finca, los posibles errores que se pueden evitar al momento de levantamiento de información, análisis de la misma y la implementación de las obras en el terreno. Además se incorporó la inversión realizada para llegar a tener el diseño hidrológico ya funcionando en la finca seleccionada.

## V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1. Etapa 1

#### 5.1.1. Potencial de captación de agua

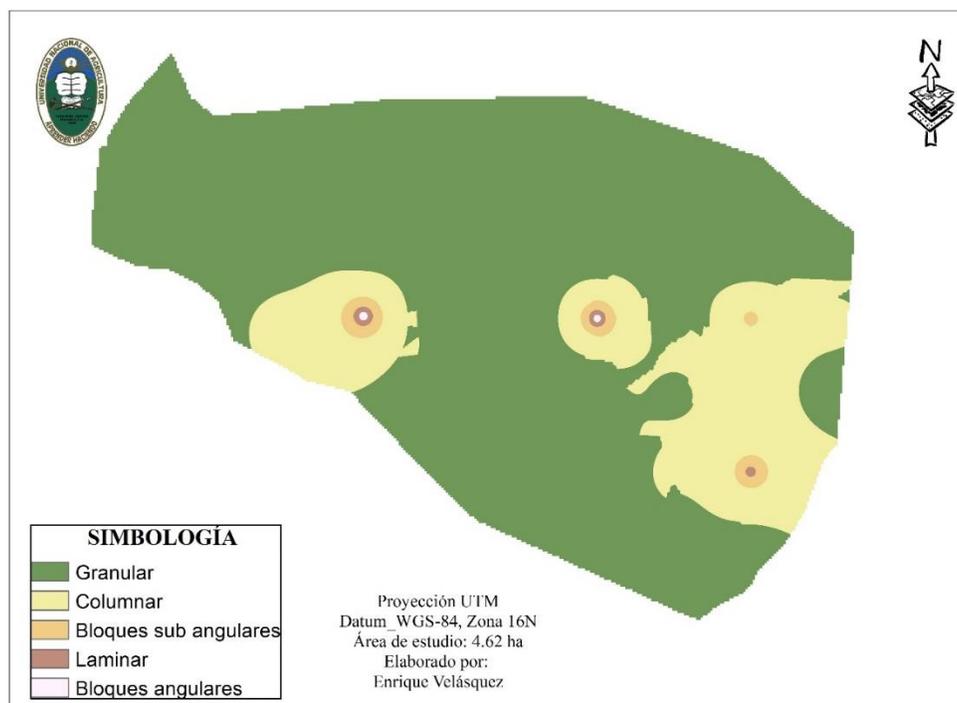
El área de captación para este terreno fue de 14.58 ha equivalente a 20.83 mz (145,800 m<sup>2</sup>). Esta área coincide con el parte aguas del sitio lo que indica que el agua precipitada está disponible para ser cosechada ya que el relieve la dirige hacia el lugar donde se implementó el diseño hidrológico. La capacidad de almacenamiento del terreno es de 145,800 l (145.8 m<sup>3</sup>) de agua por cada milímetro de lluvia precipitado (Figura 8).



**Figura 8.** Ubicación de área potencial de captación en finca El Salto en San Matías

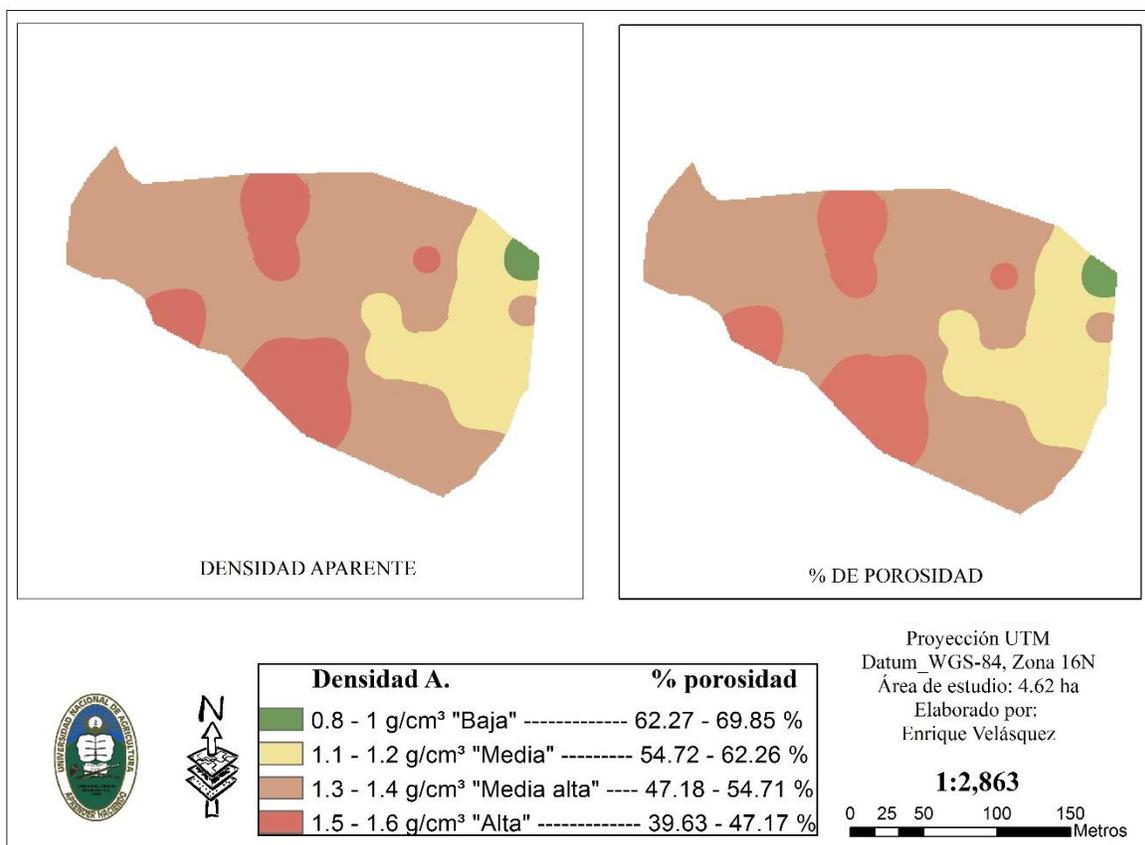
### 5.1.2. Propiedades físicas

- a. Textura: El laboratorio de la FHIA (2016) determinó que el suelo de la finca el salto (Sitio “1”) presenta un suelo franco arenoso, señalando, que contiene un 65.2 % de arena, 16.8 % de limo y 18.0 % de arcilla. Esto indica, que el suelo en su mayoría es permeable, el cual al recibir agua se infiltra con mayor facilidad y por ende, la retención de humedad es mínima. Por otra parte, si el contenido de materia orgánica aumenta durante los años siguientes, se reduciría la pérdida de nutrientes por lixiviados y facilitaría la captación de los mismos por las plantas, además, sería un suelo con una composición equilibrada de cada mineral, induciéndolo a ser un suelo agrícola fácil de trabajar y con buenas reservas de nutrientes. De esta forma la humedad a pesar de drenar libremente (FAO, s. f).
- b. Estructura del suelo: Según la tabla comparativa de Hulak (1981) la finca El Salto presenta una estructura granular, lo cual demuestra que no se presenta un asocio entre los agregados del suelo, ni un arreglo definido y ordenado de los mismos (Albrecht *et al.* 1960), sin embargo está asociado a la textura del suelo (Figura 9).



**Figura 9.** Comportamiento de la estructura del suelo en la finca El Salto

c. Densidad aparente y porosidad del suelo: La finca El Salto presenta en su mayoría un suelo con condiciones medio - alto en términos de densidad (Figura 10). Según Gutiérrez (2010) esto indica que son suelos poco estructurados y con bajos contenidos de materia orgánica. Por otra parte, Acuña (2015) señala que la densidad del suelo afecta la infiltración de agua, el desarrollo radicular, la disponibilidad de agua, la porosidad (macro y micro poros), la disponibilidad de nutrientes e incluso la actividad de microorganismos en el suelo. Ambas indicaciones preocupan, ya que este terreno de acuerdo a la variación espacial, reflejó muy poca porosidad tomando en cuenta que las variables como densidad aparente y porosidad son inversamente proporcionales, es decir, cuando la densidad aparente es alta la porosidad del suelo se reduce y viceversa. Por todo lo anterior se prevé, que la mayor concentración de humedad para este sitio es donde existe mayor porosidad y menor densidad aparente.



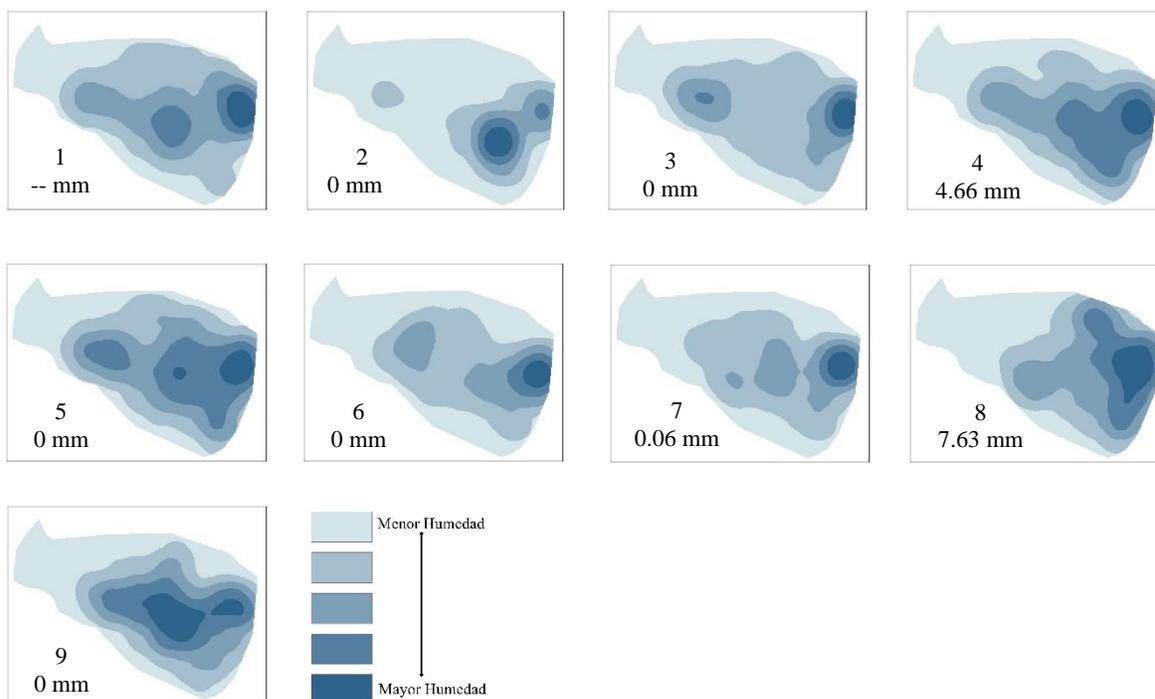
**Figura 10.** Mapa de las variables de densidad aparente y porcentaje de porosidad, en la finca El Salto

d. Pluviómetro

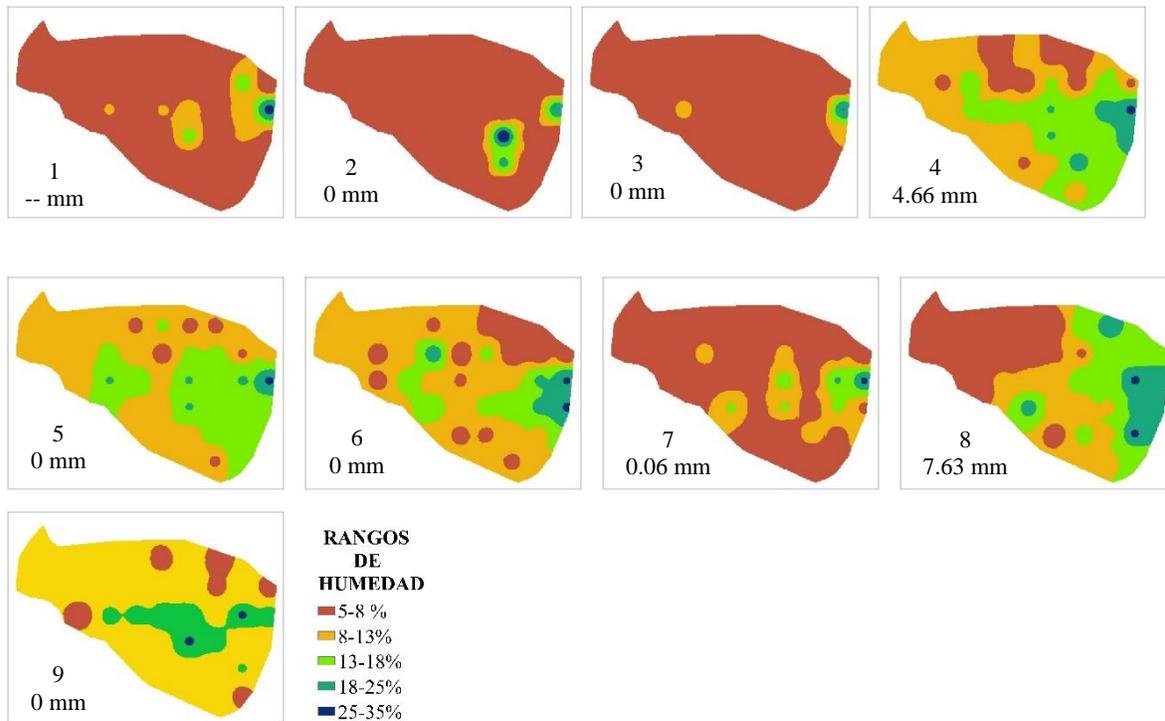
**Tabla 2.** Registro de precipitaciones en finca El Salto durante el tiempo de estudio (diciembre 2015 a marzo 2016)

Ubicación del pluviómetro		X= 0533395	Y= 1542454	
No.	Quincena	ml	Litros	mm
1	28/Dic/2015 - 12/Ene/2016	77	0.077	4.66
2	12/Ene/2016 - 27/Ene/2016	0	0	0
3	27/Ene/2016 - 11/Feb/2016	0	0	0
4	11/Feb/2016 - 26/Feb/2016	1	0.001	0.06
5	26/Feb/2016 - 12/Mar/2016	126	0.126	7.63
6	12/Mar/2016 - 27/Mar/2016	0	0	0

e. Humedad gravimétrica: La presentación de esta variable se realizó mediante el análisis de densidad de Kernel donde mostró que la humedad para el sitio de estudio manifiesta un gradiente que coincide con la orientación de la pendiente. De igual forma, mediante el método de interpolación se pudo observar este comportamiento de la variación espacial de la variable, a la vez que se reflejó el cambio de distribución de la humedad cuando hubo eventos de precipitación.



**Figura 11.** Variación espacial de la humedad del suelo en la finca El Salto



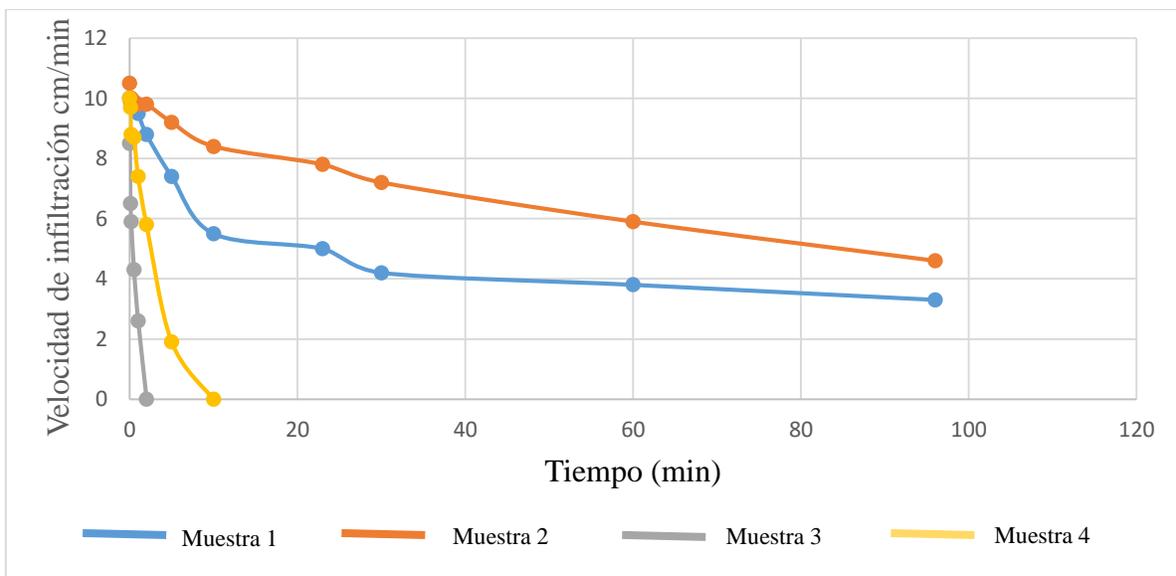
**Figura 12.** Diseño espacial para análisis del comportamiento de la humedad mediante rangos, en finca El Salto

Tanto en el análisis cualitativo (densidad de Kernel) como en el método de interpolación, la distribución de la variable tuvo el mismo comportamiento de variación espacial.

f. Color del suelo: Según los resultados del muestreo realizado en la finca El Salto, se encontró que los colores más predominantes en el sitio fueron en primer lugar el 7.5YR-4/4, Brown/café y el segundo 5YR-4/2, Gris rojizo oscuro. Dichos matices son dependiente del origen de los elementos en el suelo y de las reacciones químicas entre ellos a través del tiempo. Además, la materia orgánica juega un papel esencial en la coloración del mismo, no obstante Delgadillo y Martínez (s.f), señalan que en suelos con disolución o escasos de contenido en materia orgánica, da lugar al incremento de sodio el cual puede formar colores oscuros y presentar pH muy alcalinos, y que a su vez este tipo de pH tiende a migrar a la superficie del suelo. Asimismo, es de interés señalar que la tonalidad del color del suelo afecta indirectamente en la temperatura y la humedad.

Un suelo de color oscuro, absorberá mayor cantidad de energía radiante para un mayor grado de evaporación y se secará rápidamente que un suelo de color claro. En otras palabras se puede decir que el color que presenta el suelo de la finca El Salto tiende a ser semi oscuro de esta forma muestra un nivel medio de absorción de energía radiante, por lo tanto el grado de evaporación es moderado debido a que no posee cobertura vegetal.

- g. Infiltración: La grafica de infiltración representa que en los puntos 1 y 2 del terreno, la infiltración fueron más lenta demostrando que son suelos más compactados. Es evidente este resultado, ya que al relacionarlo con la textura y la estructura en esta zona presenta condiciones desfavorables, además por su historia en este sitio específico el laboreo y el encharcamiento fueron comunes. Por otra parte, Pizarro *et al.* (s.f) señalan que el proceso de infiltración es de gran importancia práctica dado que su velocidad determina generalmente la cantidad de agua de escurrimiento, pudiendo detectarse así el peligro de erosión durante inundaciones a lluvias muy intensas. En conclusión estas zonas de poca infiltración refleja que lluvias con mayor intensidad y menor duración provocan mayor escorrentía y erosión, reduciendo la posibilidad de infiltración y recarga de acuíferos (Figura 13).



**Figura 13.** Curvas de infiltración medidas en finca El Salto

### 5.1.3. Propiedades químicas del suelo

- a. pH: Según la FHIA (2016) este suelo muestreado bajo método sistemático o estratificado con uso de suelo; pasto y bosque latifoliado deciduo (Sitio 1), contiene solamente 4.70 de pH lo cual son bajas cantidades. Por consiguiente Molina (s.f) estipula que si un suelo está por debajo de 5.5, son suelos considerados muy ácidos, lo cual indica que la solubilidad del aluminio se incrementa y por ende aumenta el riesgo de que cause toxicidad para las raíces de un cultivo. Por otra parte si el pH es bajo, aparecen otros elementos con gran magnitud, como ser el Hierro (Fe), Manganeseo (Mn), Zinc (Zn), entre otras trazas inorgánicas que inhiben la ecología de un terreno.

El sitio “2” con uso de suelo árboles dispersos, bosque conífera denso y vegetación secundaria decidua, presenta un pH de 5.16 lo cual indica que existe un aumento del mismo en relación al anterior. La disminución en la acidez con respecto al sitio “1”, le permite una mayor disponibilidad de nutrientes (ciclaje de nutrientes), pese a que hay mayor pendiente. Sin embargo, haciendo una comparación de contextos, se observa que además de ser suelos desnudos el sitio “1” fue modificado para desviar el agua, dándole salida a la misma y a los nutrientes por un solo lugar, lo que refleja ausencia de dichos elementos.

- a. Materia orgánica: El análisis para evaluar el contenido de materia orgánica, demostró que para el sitio “1” fue de 2.50%. Este resultado manifiesta que existe una baja cantidad de MO según la tabla comparativa de la FHIA. Por consiguiente si se hace una relación con la textura de la finca (franco arenoso) se observa que está implícita la vinculación entre ambas variables, ya que, con poca infiltración y baja materia orgánica, se induce a un descenso en la capacidad de retención de nutrientes y humedad, reduciendo así la estructura, infiltración, aumento de las probabilidades de compactación y erosión.

Por otra parte, la cantidad de materia orgánica para el sitio “2” fue de 5.17%, esto demuestra que es alta, debido a la mayor cantidad de materia vegetal en descomposición durante años sin modificarse, además por el tipo de bosque (sin talar). Todo esto ha permitido la estabilidad en esta zona, a diferencia de la parte baja que ha sufrido cambios bruscos gracias al barbecho o labranza tradicional durante muchos años atrás (década de los 70).

- b. **Macronutrientes:** En comparación con los resultados del nitrógeno (N), se observa que para el sitio “1” el nivel de materia orgánica fue igual a 25.04 g/kg y que multiplicado por 5% es igual a tener 1.25 g/kg de nitrógeno (0.12%) lo que indica que es bajo (anexo 6). Al realizar el contraste con el sitio “2” repitiendo la misma operación se observa que el nivel de nitrógeno es medio y que el 5% del nitrógeno está presente en dicha materia para ambos sitios.

El resultado para el fósforo, indica que los yacimientos de fosfato natural son bajos en ambas áreas, mostrando solamente 1 ppm para el sitio “1” y 2 ppm para el sitio “2”.

El potasio en el sitio “1” con 172 ppm, siguen siendo bajo con respecto al sitio “2” con 174 ppm, sin embargo el valor es medio para ambos sitios. Además, es evidente la existencia en grandes cantidades de este mineral, ya que el terreno tiene bastante presencia de rocas, principalmente en el sitio “2”.

- c. **Elementos secundarios:** Las proporciones calcio-magnesio ponen en antecámara el resto de los elementos, en efecto la finca El Salto, las cantidades de calcio (Ca) que presentar fue de 820 ppm para el sitio “1” y 1300 ppm para el sitio “2”. Manifestando que se encuentra dentro del rango medio, el cual oscila entre 800 y 6000 ppm (Anexo 7). Este resultado muestra, que el calcio es un gran regulador de pH en el suelo, esto se puede apreciar con claridad en el sitio “2”.

El magnesio (Mg), revela un nivel medio de 160 ppm para la primera área y 262 ppm en la segunda área, siendo este último un valor alto.

No obstante, que para la FHIA estos valores son medios y altos, este suelo no se acerca a un suelo ideal, en tal sentido Astera (2014), sugiere que para la textura franco arenoso de la finca El Salto, que es un suelo muy suelto necesita ser apretado para retener agua y prevenir la erosión; en ese caso, 60% de calcio y 20% de magnesio sería lo más ideal. Pero cuando los pH están por debajo de 7 el cual no es la excepción para este sitio, Soilsminerals.com recomienda una proporción “perfecta” de 1000 ppm (68%) de calcio y 100 ppm (12%) de magnesio, en tal forma, este suelo demanda de 180 ppm de calcio y se excede de 60 ppm en magnesio (Anexo 8).

- d. Micronutrientes: Según los resultados de la FHIA, el hierro (Fe) en el primer sitio de estudio contiene 137.8 ppm y en el segundo 83.2, ambos siendo un valor alto en lo que respecta a la disponibilidad de los mismos; al igual que el manganeso (Mn) para el primer sitio 20.0 ppm y 12.1 ppm para el segundo.

Por otra parte, el cobre (Cu) con importancia en la constitución de algunas proteínas y enzimas, presentó cantidades medias de 0.98 ppm para el primer sitio y 0.94 ppm en el segundo. En consecuencia para los niveles de zinc (Zn), el cual es excelente para el aprovechamiento de nitrógeno y fósforo, sus niveles se mantuvieron medios para los dos sitios (2.56 ppm para el primer sitio y 1.74 ppm para el segundo).

**Tabla 3.** Análisis químico del suelo en dos sitios de muestreo “1” y “2”, finca El Salto, San Matías El Paraíso de acuerdo a análisis de laboratorio de FHIA (2016).

Macro elementos	Sitio "1"	Nomen clatura	Sitio "2"	Nomen clatura	Micro elementos	Sitio "1"	Nomen clatura	Sitio "2"	Nomen clatura	Interpretación
pH	4.70	B	5.16	M	Hierro (Fe)	137.8 mg/dm <sup>3</sup>	A	83.2 mg/dm <sup>3</sup>	A	$\% = \frac{g/kg}{10}$
Materia orgánica	25.04 g/kg	B	51.74 g/kg	A	Manganeso (Mn)	20.0 mg/dm <sup>3</sup>	A	12.1 mg/dm <sup>3</sup>	A	
Nitrógeno total	1.25 g/kg	B	2.59 g/kg	M	Cobre (Cu)	0.98 mg/dm <sup>3</sup>	M	0.94 mg/dm <sup>3</sup>	M	ppm = mg/dm <sup>-3</sup>
Fosforo (P)	1 mg kg <sup>-1</sup>	B	2 mg kg <sup>-1</sup>	B	Zinc (Zn)	2.56 mg/dm <sup>3</sup>	M	1.74 mg/dm <sup>3</sup>	M	
Potasio (K)	172 mg kg <sup>-1</sup>	M	174 mg kg <sup>-1</sup>	M						
Calcio (Ca)	820 mg kg <sup>-1</sup>	M	1300 mg kg <sup>-1</sup>	M						
Magnesio (Mg)	160 mg kg <sup>-1</sup>	M	261 mg kg <sup>-1</sup>	A						

Los colores representan niveles: Rojo ■: alto, Verde ■: medio, Amarillo ■: bajo

#### 5.1.4. Propiedades biológicas del suelo

- a. Hongos: El Instituto Nacional de Formación Profesional (s.f), indica que los hongos pueden ser identificados por su color, es así como en las trampas de arroz finca El Salto, se identificaron el *Fusarium* (rosado), *Bacillus subtilis* (blanco) y *Trichoderma asperellum* (verde) . Por otra parte Macías (s.f) señala que las condiciones ambientales favorables para el desarrollo del fusarium (enfermedad) son el exceso de humedad, de sombra y de bajas temperaturas y que al aplicar agroquímicos estos persisten a diferencia del resto que se encontraron (benéficos). Dichos resultados demuestran que de acuerdo a la limpieza del terreno en el sitio de estudio durante la implementación del diseño, el pasto ya cortado y dejado en descomposición en el suelo conservaba humedad, por lo tanto cuando se realizaron las trampas en el respectivo sitio, presentó incidencia de hongos patógenos. Algo importante que se refleja en los resultados es que predominan los hongos benéficos sobre los patógenos, aunque las condiciones ácidas o alcalinas que contiene este suelo es debido al pH lo cual tiende a inhibir a muchas bacterias comunes y hongos, ya que para la mayoría de las especies, el ecosistema óptimo está cercano a la neutralidad (Peña 1980).

**Tabla 4.** Hongos encontrados en los puntos de muestreo en finca El Salto.

<b>Muestra</b>	<b>Microorganismo</b>	<b>Color</b>	<b>Indicativo</b>
1	<i>Fusarium</i>	Rosado	-
	<i>Bacillus subtilis</i>	Blanco	+
	<i>Trichoderma asperellum</i>	Verde	+
2	<i>Bacillus subtilis</i>	Blanco	+
3	---	---	
4	<i>Bacillus subtilis</i>	Blanco	+

b. Macroorganismos: De acuerdo con la clasificación FAO (1981) los macroorganismos encontrados fueron catalogados según su familia y orden. En tal sentido se encontró que este suelo posee bajo contenido de los mismos, demostrados en la tabla 5. Torres *et al.* (2016) y Medina *et al.* (2011), Citado por Margareth *et al.* (2013) señalan que el deterioro manifestado en problemas físicos y químicos, repercuten sobre la actividad biológica ya que los organismos son sensibles a los cambios de la calidad del suelo. Finalmente, queda evidenciado claramente él porque es tan bajo en cantidad para esta área de estudio.

**Tabla 5.** Macro organismos del suelo encontrados en los sitios de muestreo.

Punto de muestra	Coordenadas		Cantidades	Nombre común	Familia	Orden
	X	Y				
1	533389	1542488	0	--		
2	533298	1542553	15	Termitas	Formícidos	Isoptera
3	533209	1542586	2	Cien pies	Himantarida	Geophilomorpha
			1	Araña	Arácnida	Araneae
			5	Coleóptero	Tenebrionidae	Coleóptera
4	533118	1542619	2	Araña	Arácnida	Araneae
			3	Hormigas	Formicidae	Hymenoptera
			10	Termitas	Formícidos	Isoptera
			2	Coleóptero	tenebrionidae	Coleóptera

### 5.1.5. Propiedades cualitativas del suelo

Entre los hallazgos más importantes de las 8 muestras de la variable de cromatografía en papel, fueron que en la mayoría de los ejemplares la zona central de los cromas no se mostró un color bien definido. Por otra parte, la zona enzimática presentó una tonalidad de color lila o morado desde los 10, 20 y 30 cm de profundidad. Esto indica que son suelos no ideales actualmente, debido al maltrato o la desnutrición del suelo por mecanización pesada, la aplicación de pesticidas y la exposición directa a los rayos del sol al quitársele la cobertura vegetal (Restrepo y Pinheiro 2011).

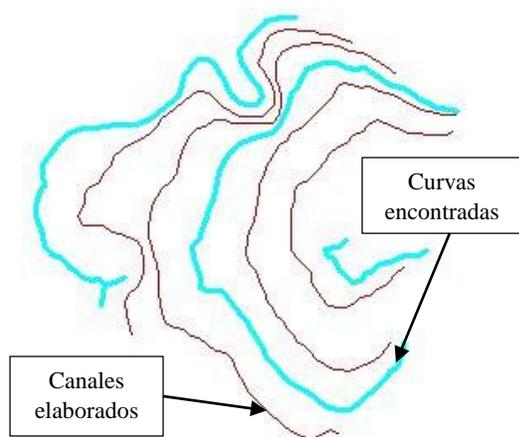
Así mismo, se encontró que en la muestra número 1 en las 3 profundidades evaluadas, el matiz que se observó en la zona central, fue color cremoso y la zona mineral expresó un color café claro, además se observó una relación entre la zona mineral y la zona intermedia o de la materia orgánica. Además, en la zona enzimática se pudo percibir que algunos dientes de caballo explotaron durante el manifiesto, por lo tanto liberó un color amarillo en la periferia de los mismos dientes durante revelado. En este sentido Restrepo y Pinheiro (2011) indican que suelos con estas características tienen una buena interacción entre los microorganismos, también que por su color amarillo entre los dientes de caballo, se debe meramente a una buena disponibilidad de humus en el suelo que está apto para la planta.

## 5.2. Etapa 2

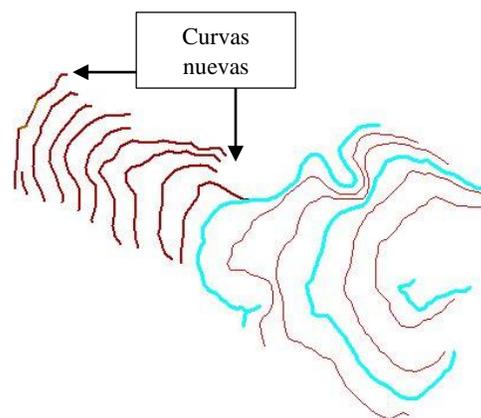
### 5.2.1. Curvas a nivel

Se encontró que el productor ya había marcado siete curvas a nivel, de las cuales solamente cuatro estaban acanaladas (Figura 15), mismas que se elaboraron en abril de 2015, con el fin de infiltrar agua. Las cuales tienen una capacidad para almacenar 37.74 m<sup>3</sup> de agua en el área (Tabla 6).

Tomando en cuenta la topografía y las curvas ya elaboradas, se construyeron nueve curvas adicionales, a 1 m de altura entre una y la otra (Figura 14).



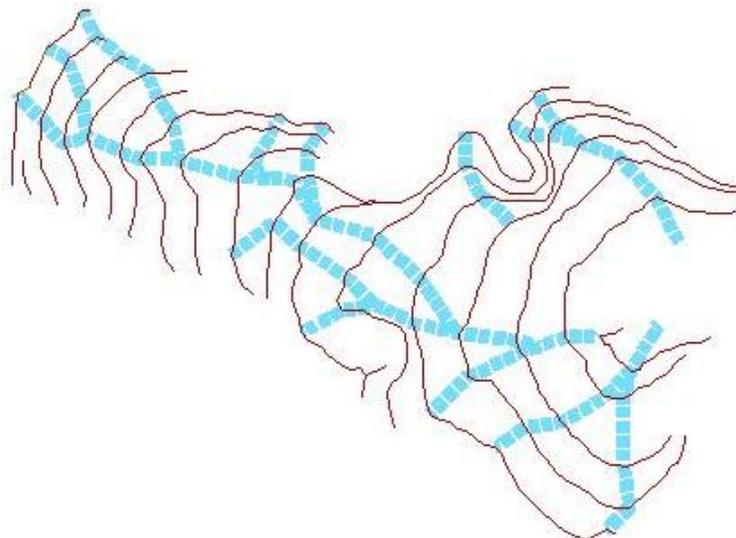
**Figura 15.** Canales y curvas que el productor tenía previo a este estudio



**Figura 14.** Marcaje de nueve curvas más

### 5.2.2. Movimiento natural del agua

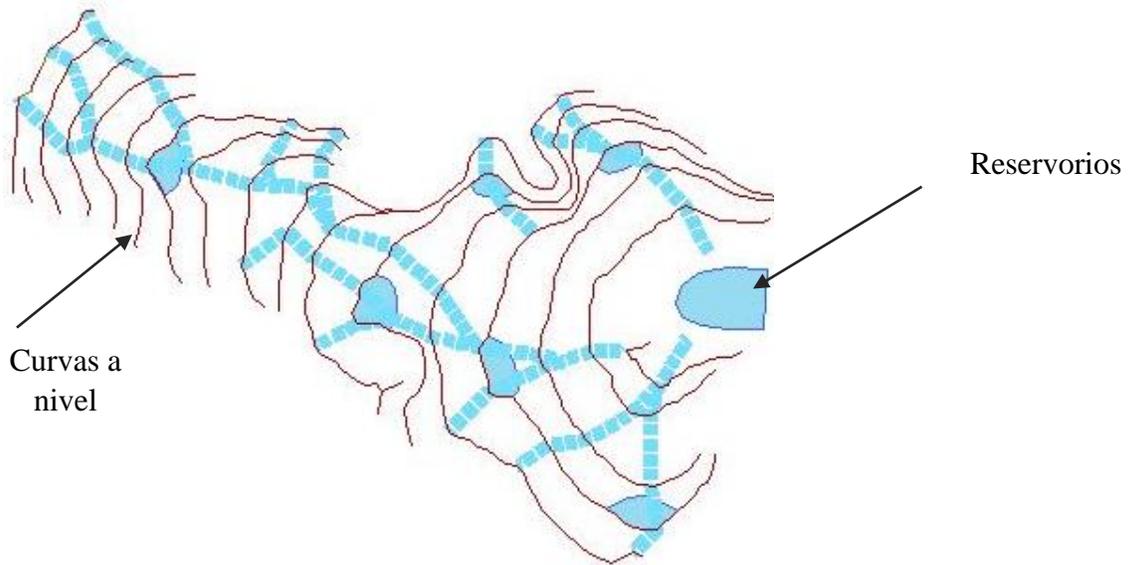
Con la lectura de curvas se encontró que toda el agua se concentra en la parte más baja del terreno en lo que respecta al área de estudio, por lo tanto, el agua que llueve se puede aprovechar de manera óptima (Figura 16).



**Figura 16.** Determinación del movimiento natural del agua a partir de la interpretación de las curvas a nivel

### 5.2.3. Diseño hidrológico

Tomando en cuenta el movimiento natural del agua se consideró ubicar siete reservorios que coinciden con los puntos de inflexión en el terreno, esto con el fin de almacenar espejos de agua para ser utilizados y a la vez poder infiltrar la misma (Figura 17). Esta decisión aparte de movimiento natural del agua se originó también de los primeros resultados de humedad y la interpretación de las curvas a nivel. El tamaño de cada reservorio se calculó según la precipitación del sitio.

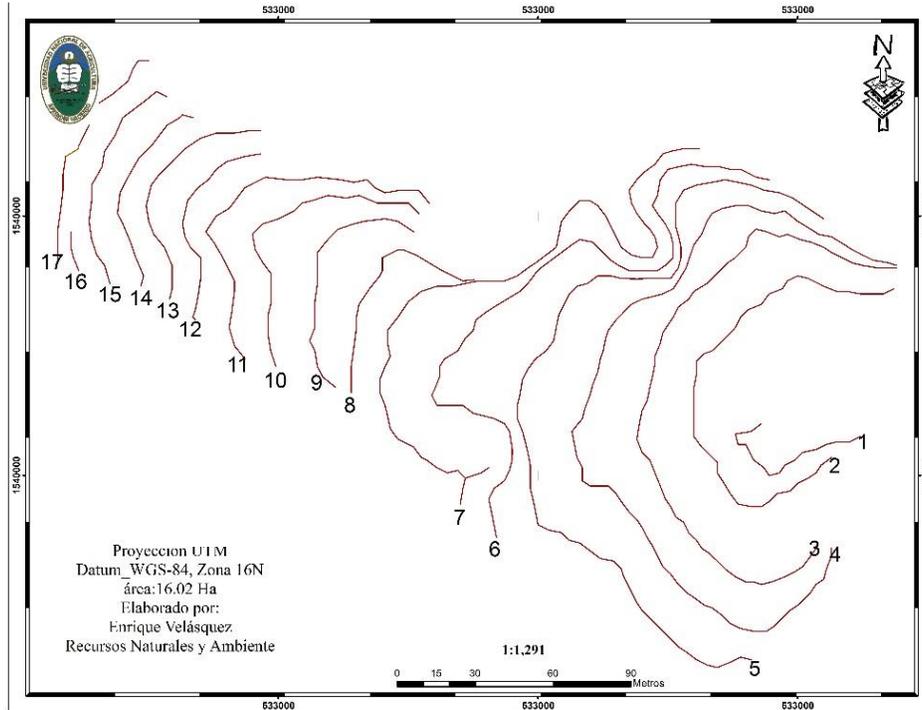


**Figura 17.** Ubicación de los reservorios en las líneas clave

### **5.3. Etapa 3**

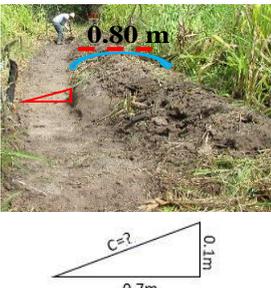
#### **5.3.1. Implementación del diseño**

Una vez tomadas las decisiones, se procedió a construir los canales seleccionados sobre las 9 curvas adicionales, más un canal de las curvas a nivel ya elaboradas por el productor, haciendo una suma de 15 canales. Se construyeron solamente canales a nivel ya que el objetivo del diseño fue almacenar e infiltrar el agua de escorrentía (Figura 18).



**Figura 18.** Curvas a nivel marcadas en el sitio de estudio.

**Tabla 6.** Capacidad de recolección de los canales según su dimensión.

No. de canal	Longitud del canal (m)	Dimensión de los canales	Capacidad de recolección (m <sup>3</sup> )
1	73.13	 $a^2 + b^2 = c^2$ $(0.1\text{m})^2 + (0.71\text{m})^2 = c^2$ $0.01\text{ m}^2 + 0.49\text{ m}^2 = c^2$ $\sqrt{0.5\text{ m}^2} = c^2$ $0.71\text{ m} = c^2$ <hr/> $0.035\text{m}^2 \times \text{Long canal (m)} = V$	2.55955
2	195.48		6.8418
3	258.57		9.04995
4	342.82		11.9987
5	337.82		11.8237
6	286.35		10.02225
7	296.12		10.3642
8	94.07		3.29245
9	98.77		3.45695
10	124.27		4.34945
11	153.42		5.3697
12	83.96		2.9386
13	96.62		3.3817
14	81.42		2.8497
15	89.59		3.13565
16	15.51		0.54285
17	92.53		3.23855
<b>Suma</b>	<b>2720.45</b>	<b>Suma</b>	<b>95.21575</b>

La tabla 6 está asociada con la figura 18, el cual refleja la capacidad en recolección de agua en  $m^3$  de cada uno de los canales y que sumados equivalen a  $95.22 m^3$  en total. Dicho resultado surge de la multiplicación de la longitud de los canales (m) por el área de los mismos ( $m^2$ ).

### 5.3.2. Control de torrentes

Debido a la pendiente de dicho terreno se elaboraron seis controles de torrentes a base de piedra los cuales están situados en puntos donde a través de la observación se identificó mayor arrastre de sedimento, por lo tanto se construyeron con la siguiente dimensión promedio; 7 m de largo x 1 m de alto x 0.70 m de ancho ya que algunos variaron en tamaño (a veces más grandes o más pequeños). Estos muros en la parte frontal cubren un área promedio de  $6.99 m^2$  (Figura 19).



**Figura 19.** Controles de torrentes en la parte alta del terreno

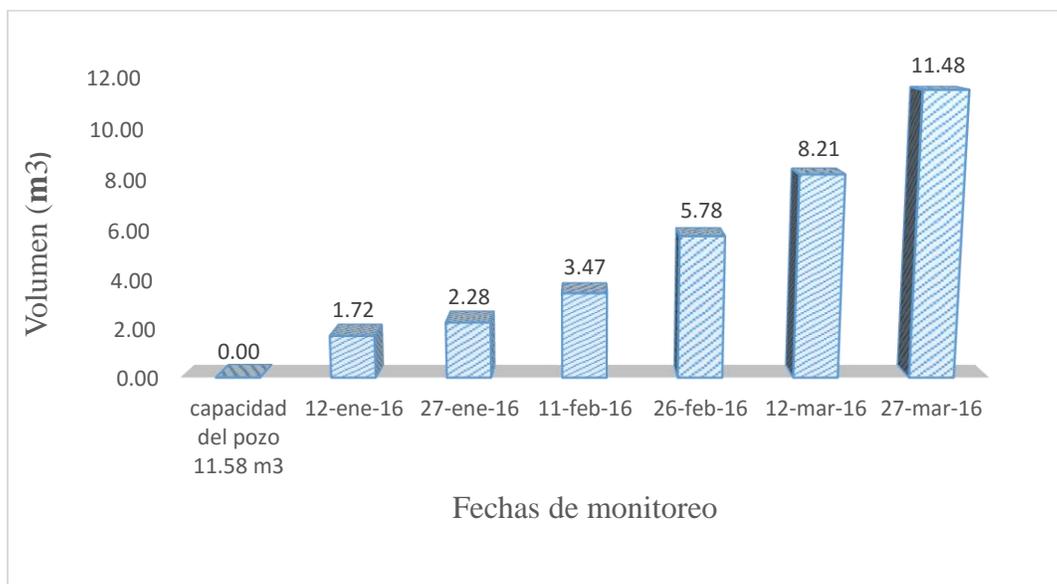
### 5.3.3. Monitoreo del pozo

Dentro de las características físicas evaluadas, se monitoreó la cantidad de agua recopilada por el pozo tomando en cuenta que la relación de pérdida y ganancia de agua solamente se pudo calcular midiendo el caudal en el mismo.

**Tabla 7.** Monitoreo del pozo en finca El Salto

Ubicación del pozo	X= 533355 Y=154253 2	Situación actual en que se encontraba			Pérdida de agua			
		Longitud	Volumen		Longitud	Volumen		Pérdida total por quincena m <sup>3</sup>
No.	Fechas de monitoreo	Metros	(m <sup>3</sup> )	Litros	Metros	Volumen en m <sup>3</sup>	Litros	
0	Volumen total	9	11.58	11581.19	0.00	0.00	0.00	0.00
1	12-ene-16	7.66	9.86	9856.88	1.34	1.72	1724.31	1.72
2	27-ene-16	7.23	9.30	9303.56	1.77	2.28	2277.63	0.56
3	11-feb-16	6.3	8.11	8106.84	2.7	3.47	3474.36	1.20
4	26-feb-16	4.51	5.80	5803.47	4.49	5.78	5777.73	2.30
5	12-mar-16	2.62	3.37	3371.41	6.38	8.21	8209.78	2.43
6	27-mar-16	0.08	0.10	102.94	8.92	11.48	11478.25	3.27
<b>TOTAL</b>								<b>11.48</b>

La tabla número 7 representa las pérdidas de agua en metros cúbicos que tuvo el pozo durante el monitoreo, el cual, según la medición tiene un diámetro de 1.28 m por 9 m de profundidad. Esto significa que su capacidad en volumen equivale a 11.58 m<sup>3</sup> de agua o 11,581.19 l.



**Figura 20.** Pérdidas de agua en m<sup>3</sup> por fecha monitoreada en finca El Salto

Respecto a las pérdidas de agua por fecha de monitoreo, si se hace una relación con la tabla de cálculos, específicamente en la “pérdida total por quincena”, se observará que el pozo tuvo menor pérdida en la quincena del 12 al 27 de enero 2016 con tan solo  $0.56 m^3$  y que su pérdida máxima fue de  $3.27 m^3$  para la quincena del 12 al 27 de marzo del mismo año.

## 5.4.Etapa 4

### 5.4.1. Manual de implementación

#### a. PRÓLOGO

*La Guía sobre Cosecha de agua y suelo, bajo el método de línea clave en el corredor seco, de San Matías El Paraíso*, ha sido preparado con la intención de proveer a productores; algunos lineamientos generales prácticos para la implementación de este sistema, sobre Cosecha de agua y suelo. Sin embargo, éste también puede ser de interés para una mayor audiencia, en técnicos enfocados a la extensión.

La orientación de este manual es aplicativo, contiene los procedimientos que se deben realizar para montar un diseño en una finca, los posibles errores que se pueden evitar al momento de levantamiento de información, análisis de la misma y la implementación de las obras en el terreno. Además tiene incorporada la inversión realizada para llegar a tener el diseño hidrológico ya funcionando en la finca seleccionada. También, sujeta algunos métodos sobre como monitorear la finca con respecto a los muestreos de suelo para análisis físicos, químicos y biológicos.

Por otra parte, en distintos países de América Latina han desarrollado experiencias en captación de agua lluvia con bases técnicas en general, Manuales de Conservación de Suelo y de Agua, México (Anaya *et al.*, 1977), etc. Sin embargo, Debido a las Emergencia por sequía declarada por el gobierno de la república de Honduras, el cual acompañado de las secretarías, ha realizado obras de captación de agua. En mayo de 2015 se habían implementado más de 70 proyectos para cosechas de agua en la zona del “corredor seco” hondureño. Los sistemas de cosecha que utilizaron en estos proyectos fueron los siguientes: Tanques tipo Zamorano, geo membranas, y otras estructuras, con el fin de mitigar los efectos de sequía.

En referencia, se generó este manual, con el fin de tener experiencias tangibles para dicha localidad, con una nueva metodología para el país que está basada en recargar el acuífero, la cual es diseño hidrológico en línea clave, desde una perspectiva agroecológica sin tener que explotar el mismo.

Se ha hecho un gran esfuerzo para hacer que el manual sea un documento de trabajo práctico, utilizando tablas, esquemas, y figuras tanto como ha sido posible. No se pretende que contenga todas las características de los terrenos, ya que ninguno es igual. Pero, sí se espera que sea útil y que pueda ayudar a realizar más experiencias en el futuro.

## VI. CONCLUSIONES

- a. La finca El Salto es un terreno ondulado que debido a la estructura granular en su mayoría, presenta una infiltración sub superficial y es por eso que las aguas que se infiltran en la parte superior alcanzan su nivel a pocos metros (parte media del terreno), no obstante, se explica que décadas anteriores generaba encharcamiento en la parte media del terreno debido a estas circunstancias.
- b. Las propiedades del suelo encontradas en la finca El Salto dieron como resultado un nivel bajo, debido al empleo de las malas prácticas agrícolas que se han venido desarrollando a lo largo del tiempo, provocando un deterioro en el suelo.
- c. El diseño hidrológico con línea clave es un método que se puede implementar haciendo uso de maquinaria o de manera manual.
- d. Con los resultados preliminares, se pudo observar que la implementación del diseño favorece la infiltración del agua y el movimiento de esta, es lento a través de la matriz de suelo.
- e. Honduras es un país que no necesita explotación de acuíferos, con la cantidad de precipitación disponible es suficiente para satisfacer las necesidades de agua (consumo, actividades productivas, industriales) siempre y cuando se conserve la vegetación.

## VII. RECOMENDACIONES

- a. Los suelos que presenten colores oscuros deben ser prioridad en términos de incorporar cobertura vegetal (*Cajanus cajan* y *Cannavalia*) para que además de proteger el suelo de la erosión, mitigue las pérdida de humedad por evaporación.
- b. Si se va a introducir ganado vacuno al terreno, que se haga un año después de la implementación del diseño específicamente en junio 2017, ya que actualmente los valores de densidad aparente están de medios a altos.
- c. Incorporar cercas eléctricas a partir de paneles solares en las zonas de mayor densidad aparente tal y como está reflejado en los mapas de densidad aparente y % de porosidad, con la finalidad de evitar el menor pisoteo del ganado al terreno.
- d. Evitar las quemas en el terreno ya que esto impide el desarrollo de la ecología en el mismo. Además que sirve de protección al momento de darse eventos de lluvias.
- e. Tomar uno de los canales a nivel ya elaborados e incorporarle concha de coco y luego aterrarlo, con el objetivo de atrapar la humedad en épocas lluviosas y que esté disponible en estiaje.
- f. No conviene elaborar canales a desnivel ya que aparte de sacar el agua de los terrenos se pierden los nutrientes por erosión.

- g. Continuar el estudio ya que este fue una línea base de referencia para evaluar el impacto del diseño hidrológico en el futuro.
  
- h. Que él o la estudiante que le dé continuidad al estudio incorpore la variable de medir la erosión mediante parcelas para tener resultados cuantitativos de la misma.

## VIII. BIBLIOGRAFÍA

Acuña, A. 2010. La densidad aparente en suelos forestales del parque natural los alcornocales. Escuela universitaria de ingeniería técnica agrícola. Universidad de Sevilla, España.

Acuña, A. 2015. Densidad aparente del suelo y su importancia en la aireación y humedad del suelo (en línea). Consultado 15 may. 16. Disponible en <http://globalcesped.org/noticias-mainmenu-2/los-suelos/942-densidad-aparente-del-suelo-i>

Albrecht, W. *et al.* 1960. El suelo ideal. Un manual para la nueva agricultura. Trad. Larios, A. 2014. Universidad de Missouri. Columbia. 163 p (V2.10).

Bakker, A; Brakker, J. 2008. Chromatography. Beelden Van Energie. Ed. MC – Ent Gestión y Publicación. Holanda. 96 p.

Bignell, E; Constantino, R; Csuzdi, C; Karyanto, A; Konaté, S; Louzada, J; Tondoh, E; Zannetti, R. s.f. Macrofauna. Capítulo 3 (en línea). Consultado 05 nov. 15. Disponible en <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/667/cap3.pdf>.

Cabián, C. *et al.* 2015. Alternativas ante la escasez de agua. Productor Agropecuario América Central y el Caribe 4(52): 26-28.

Fraiture y Wichelns. 2010. Investing in water for food, ecosystems, and livelihoods: An overview of the comprehensive assessment of water management in agricultura. Agricultural Water Management. 97 (2010):495–501.

Delgadillo, F; Martínez, J. s.f. Manual de procedimientos analíticos. Departamento de edafología. Universidad Nacional Autónoma de México. 56p.

Donald G; Lobo D. 2000. Methods for determining granulometry and bulk density of the soil. Caracas, Venezuela. Venesuelos. Vol. 14(37-48).

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT). 2009. Guía para la descripción de suelos. Trad. Vargas, R. 4 ed. San Simón. Bolivia. 111 p.

Fuentes, J. 1993. Aguas subterráneas. Hojas divulgadoras. 1(92): 1-32.

Gras, E. 2009. 1era ed. Cosecha de Agua y tierra, Diseño con Permacultura. Consejeros en Agricultura Sostenible y Permacultura Brasil, Colombia, México. Ediciones COAS. 243 p.

\_\_\_\_\_. 2009. 1era ed. Cosecha de Agua y tierra, Diseño con Permacultura. Consejeros en Agricultura Sostenible y Permacultura Brasil, Colombia, México. Ediciones COAS. 243 p.

\_\_\_\_\_. 2009. 1era ed. Cosecha de Agua y tierra, Diseño con Permacultura. Consejeros en Agricultura Sostenible y Permacultura Brasil, Colombia, México. Ediciones COAS. 243 p.

\_\_\_\_\_. 2009. 1era ed. Cosecha de Agua y tierra, Diseño con Permacultura. Consejeros en Agricultura Sostenible y Permacultura Brasil, Colombia, México. Ediciones COAS. p 143-145.

InfoAgro. s.f. [http://www.infoagro.com/abonos/elementos\\_suelo\\_esenciales\\_plantas.htm](http://www.infoagro.com/abonos/elementos_suelo_esenciales_plantas.htm)

Inforganic. 2004. La importancia de la materia orgánica en el suelo (en línea). Consultado 05 nov. 15. Disponible en <http://inforganic.com>.

\_\_\_\_\_. 2004. La importancia de la materia orgánica en el suelo (en línea). Consultado 05 nov. 15. Disponible en <http://inforganic.com>.

Instituto Nacional de Formación Profesional. s.f. Fertilizantes orgánicos sólidos y líquidos. Trampas para microorganismos y análisis de suelo (video en línea). Consultado 17 jun. 2016. [https://www.youtube.com/watch?v=WcXEH\\_mIYSE](https://www.youtube.com/watch?v=WcXEH_mIYSE).

Jaurixje, M. *et al.* 2013. Propiedades físicas y químicas del suelo y su relación con la actividad biológica bajo diferentes manejos en la zona de Quíbor, Estado Lara. *Biaogro*. 25(1): 47-56.

Kreft, S; Eckstein, D. *et al.* 2015. Índice de Riesgo Climático Global (en línea). Décima ed. Consultado 15 jul. 2015. Disponible en [www.germanwatch.org/de/9470](http://www.germanwatch.org/de/9470)

Macías, N. s.f. Principales enfermedades del cultivo de café. Capítulo 11. [file:///C:/Users/DELL\\_INSPIRON/Downloads/Tec%20Guia%20Enfermedades.pdf](file:///C:/Users/DELL_INSPIRON/Downloads/Tec%20Guia%20Enfermedades.pdf)

Molina, D. 2010. Análisis de la cadena láctea en Honduras (en línea). Tegucigalpa, Honduras. Consultado 24 de junio. 2016. Disponible en: <http://www.agronegocioshonduras.org/wp-content/uploads/2013/11/lactea.pdf>

Molina, E. s.f. Análisis de suelos y su interpretación. Centro de investigaciones agronómicas. 8p.

Munsell. 1990. Munsell Soil on Charts. Edition revised. 99p.

Pizarro, R. *et al.* s.f. Módulo 03. Curvas de infiltración (en línea). Consultado 17 may. 2016.  
Disponibile en  
[http://eias.usalca.cl/Docs/pdf/Publicaciones/manuales/c\\_modulo\\_curva\\_infiltracion.pdf](http://eias.usalca.cl/Docs/pdf/Publicaciones/manuales/c_modulo_curva_infiltracion.pdf)

Pizarro, R. *et al.* s.f. Módulo 03. Curvas de infiltración (en línea). Consultado 17 may. 2016.  
Disponibile en  
[http://eias.usalca.cl/Docs/pdf/Publicaciones/manuales/c\\_modulo\\_curva\\_infiltracion.pdf](http://eias.usalca.cl/Docs/pdf/Publicaciones/manuales/c_modulo_curva_infiltracion.pdf)

Restrepo, J; Pinheiro, S. 2011. Cromatografía. Imágenes de vida y destrucción del suelo. 69 p.

Restrepo, J; Pinheiro, S. 2011. Cromatografía. Imágenes de vida y destrucción del suelo. 69 p.

Taboada, M; Alvarez, R. 2008. Fertilidad física de los suelos. 2da Ed. Editorial Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires.

Van, R. 2000. Manual de captación y aprovechamiento del agua de lluvia: experiencias en américa latina. Santiago, Chile. 2 ed. p. 6. Zonas áridas y semiáridas no 13.

\_\_\_\_\_. 2000. Manual de captación y aprovechamiento del agua de lluvia: experiencias en américa latina. Santiago, Chile. 2 ed. p. 8-9. Zonas áridas y semiáridas no 13.

Van, R; Prieto, M. 2000. Manual de captación y aprovechamiento del agua de lluvia: experiencias en américa latina. Santiago, Chile. 2 ed. Zonas áridas y semiáridas no 13.

## **ANEXOS**

**Anexo 1.** Hoja para el etiquetado de las muestras de suelo.

<b>ETIQUETA No.</b>	_____	<b>CÓDIGO:</b> _____
<b>Lugar:</b>	_____	
<b>Fecha:</b>	_____	
<b>Muestra No:</b>	_____	
<b>Uso de suelo:</b>	_____	
<b>Coordenadas:</b>	X _____	Y _____
<b>Altura:</b>	_____	
<b>Profundidad:</b>	_____	

**Anexo 2.** Hoja de precipitaciones para los meses de Octubre a Enero 2015.

<b>DATOS DE PRECIPITACIÓN</b>				
<b>Ubicación del pluviómetro</b>		X= 0533395	Y= 1542454	
<b>No.</b>	<b>Quincena</b>	<b>ml</b>	<b>Litros</b>	<b>mm</b>
1				
2				
3				
4				
5				
6				

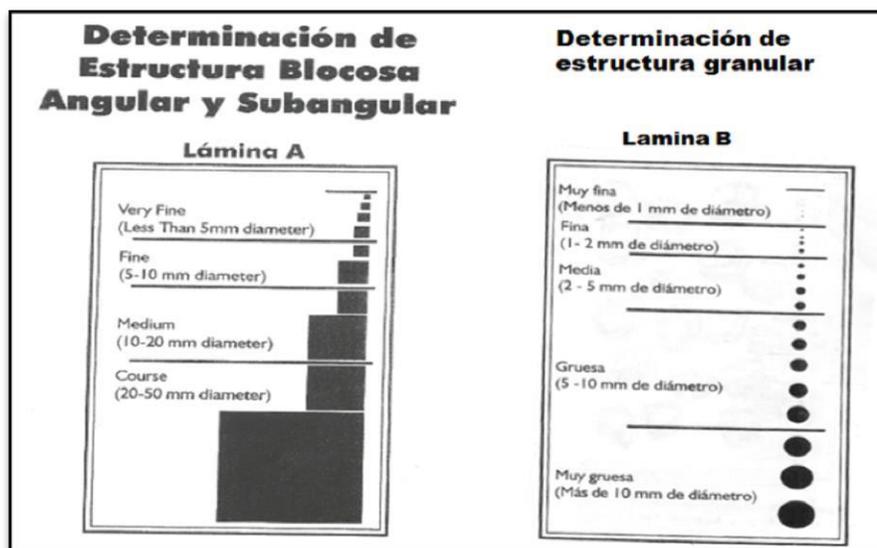
**Anexo 3.** Registro de datos para realizar las prueba de infiltración.

<b>No. DE MUESTRA</b>	<b>INFILTRACIÓN (cm)</b>	<b>TIEMPO (min)</b>
1		
2		
3		
4		

**Anexo 4.** Tabla para determinar la estructura del suelo.

<b>Forma</b>	<b>Descripción</b>	<b>Lámina</b>
<b>Blocoso angular</b>	Las tres dimensiones son casi del mismo tamaño, las caras son angulares y los vértices fuertemente angulares	Lamina A
<b>Blocoso sub angular</b>	Similar al anterior, pero las caras son un tanto aplanadas como curvadas y muchos de los vértices redondeados	Lamina A
<b>Granular</b>	Las tres dimensiones son aproximadamente de la misma magnitud; superficies planas o curvas. Los agregados son relativamente no porosos	Lamina B
<b>Prismática</b>	Forma semejando prismas, con orientación vertical, caras verticales bien definidas; vértices angulares, la parte superior no es redondeada	Lamina C
<b>Columnar</b>	Semejando prismas como el anterior, pero la parte superior de ellos es redondeada.	Lamina C
<b>Laminar</b>	Forma de láminas, con una orientación en un plano horizontal; sus caras son en su mayoría horizontal	Lamina D

Origen: Hulak, (1981)



**Anexo 5.** Hoja de registro para el monitoreo del pozo, finca El Salto.

Ubicación del pozo	X= 533355 Y=154253 2	Situación actual en que se encontraba			Perdida de agua			
		Longitud	Volumen		Longitud	Volumen		Pérdida total por quincena m <sup>3</sup>
No.	Fechas de monitoreo	Metros	(m <sup>3</sup> )	Litros	Metros	Volumen en m <sup>3</sup>	Litros	
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
<b>TOTAL</b>								

**Anexo 6.** Resultados del muestreo de la FHIA, para los sitios “1 y 2”.

FUNDACIÓN HONDUREÑA DE INVESTIGACIÓN AGRÍCOLA  
LABORATORIO QUÍMICO AGRÍCOLA  
RESULTADOS E INTERPRETACIÓN DE ANÁLISIS DE SUELOS

Nombre: Enrique Velásquez      Municipio: San Mateo  
Identificación: Finca El Salto, Pasto y boque lotificado      Departamento: El Paraíso  
No. Solicitud: 38343-1      Cultivo: .  
No. Laboratorio: 800      Fecha: 2016/04/29

Variable	Valor	Unidad	Clase	Referencia	Interpretación
pH	4.70		B	Hierro (Fe)	137.8 mg/dm <sup>3</sup> A
Materia Orgánica	25.04	g/kg	B	Manganeso (Mn)	20.0 mg/dm <sup>3</sup> A
Nitrogeno Total	1.25	g/kg	B	Cobre (Cu)	0.98 mg/dm <sup>3</sup> M
Fosforo (P)	1	mg/kg	B	Zinc (Zn)	2.56 mg/dm <sup>3</sup> M
Potasio (K)	172	mg/kg	M	Boro (B)	mg/dm <sup>3</sup> B
Calcio (Ca)	620	mg/kg	M		
Magnesio (Mg)	160	mg/kg	M		
Azúfre (S)		mg/kg	B		

Interpretación: % = g/kg, ppm = mg/kg, ppm = mg/dm<sup>3</sup>

Clases: A = Alto, M = Medio, B = Bajo

Recomendación: Kilogramo/Hectarea  
 Nitrogeno ( N )      Calcio ( CaO )      Zinc ( Zn )  
 Fosforo ( P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> )      Magnesio ( MgO )      Boro ( B )  
 Potasio ( K<sub>2</sub>O )      Azúfre ( S )

Comentario:



FUNDACIÓN HONDUREÑA DE INVESTIGACIÓN AGRÍCOLA  
LABORATORIO QUÍMICO AGRÍCOLA  
RESULTADOS E INTERPRETACIÓN DE ANÁLISIS DE SUELOS

Nombre: Enrique Velásquez      Municipio: San Mateo  
Identificación: Finca El Salto, Boque lotificado pasto-encino      Departamento: El Paraíso  
No. Solicitud: 38343-2      Cultivo: .  
No. Laboratorio: 801      Fecha: 2016/04/29

Variable	Valor	Unidad	Clase	Referencia	Interpretación
pH	5.16		M	Hierro (Fe)	83.2 mg/dm <sup>3</sup> A
Materia Orgánica	51.74	g/kg	A	Manganeso (Mn)	12.1 mg/dm <sup>3</sup> A
Nitrogeno Total	2.59	g/kg	M	Cobre (Cu)	0.94 mg/dm <sup>3</sup> M
Fosforo (P)	2	mg/kg	B	Zinc (Zn)	1.74 mg/dm <sup>3</sup> M
Potasio (K)	174	mg/kg	M	Boro (B)	mg/dm <sup>3</sup> B
Calcio (Ca)	1300	mg/kg	M		
Magnesio (Mg)	251	mg/kg	A		
Azúfre (S)		mg/kg	B		

Interpretación: % = g/kg, ppm = mg/kg, ppm = mg/dm<sup>3</sup>

Clases: A = Alto, M = Medio, B = Bajo

Recomendación: Kilogramo/Hectarea  
 Nitrogeno ( N )      Calcio ( CaO )      Zinc ( Zn )  
 Fosforo ( P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> )      Magnesio ( MgO )      Boro ( B )  
 Potasio ( K<sub>2</sub>O )      Azúfre ( S )

Comentario:



**Anexo 7.** Resultados de la variable de textura y tabla comparativa de los nutrientes en el suelo, el cual utiliza el laboratorio de la FHIA.

  
**FUNDACIÓN HONDUREÑA DE INVESTIGACIÓN AGRÍCOLA**

CÓDIGO: 81-41  
 Versión No. 2  
 Pág. 1/1

**Laboratorio Química Agrícola**  
**INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO**

<b>Cliente:</b> Enrique Velásquez	<b>Muestra No.:</b> 0800
<b>Dirección:</b> Cotacomas, Olancho	<b>Fecha de Ingreso:</b> 2016/04/21
<b>Contacto:</b> Sr. Enrique Velásquez	<b>Fecha de Ejecución del Análisis:</b> 2016/04/21 - 2016/04/29
<b>Entregado Por:</b> Encuentando	<b>Solicitud #:</b> 38343
<b>Mira, Recolectada Por:</b> El Cliente	<b>Factura #:</b> 03430
<b>Muestra:</b> Suelo	<b>Informe:</b> Lqa BU 133/16
<b>Condiciones de recepción de muestra:</b> Cantidad suficiente, conservado a temperatura ambiente y en un envase adecuado suministrado por el cliente.	
<b>Identificación:</b> Enrique Velásquez, Finca El Suelo, San Mateo, El Paraíso.	<b>Fecha de Emisión de Informe:</b> 2016, Abril 29

Lab. No.	Distribución Percentual			Clase Textural	Método
	Arena %	Limo %	Arcilla %		
0800	65.2	16.8	18.0	Franco Arenoso	Boyucous

  
 Carlos Gougeon, Ph. D.  
 Jefe Lab. Química Agrícola

Apartado Postal 2067, San Pedro Sula, Cortés, Honduras, C.A.  
 Tels. PBX: (504) 2668-2470, 2668-2827, 2668-2884, Fax: (504) 2668-2313  
 Correo electrónico: fhia@fhia.org  
 La Lima, Cortés, Honduras, C.A.  
 www.fhia.org/hn

**Interpretación del análisis de fertilidad de suelos en la FHIA.**

Análisis	Bajo	Medio	Alto
<b>pH</b>	≤5.0	5.1-6.8	≥6.9
<b>N.Total (%)</b>	≤0.20	0.21-0.50	≥0.51
<b>M.O (%)</b>	≤3.0	3.1-5.0	≥5.1
<b>P (mg/kg)</b>	≤10.0	11-20	≥21
<b>K (mg/kg)</b>	≤98	99-234	≥235
<b>Ca (mg/kg)</b>	≤799	800-6000	≥6001
<b>Mg (mg/kg)</b>	≤150	151-250	≥251
<b>S (mg/kg)</b>	≤19	19.1-80	≥80.1
<b>Fe (mg/kg)</b>	≤5.0	5.1-15	≥15.1
<b>Mn (mg/kg)</b>	≤2.0	2.1-10	≥10.1
<b>Cu (mg/kg)</b>	≤0.5	0.51-10	≥10.1
<b>Zn (mg/kg)</b>	≤1.0	1.1-5.0	≥5.1
<b>B (mg/kg)</b>	≤0.5	0.51-8.0	≥8.1

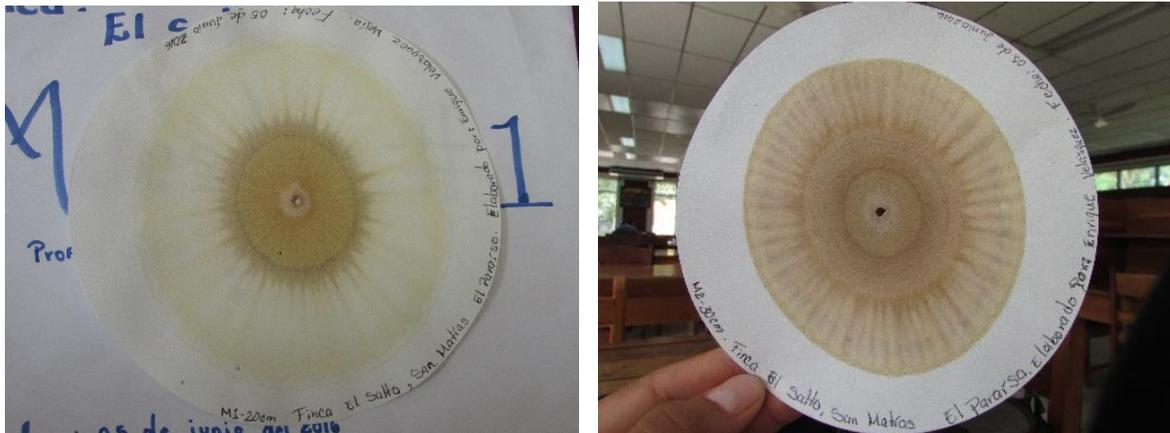
**Anexo 8.** Tabla de El Suelo Ideal, para la saturación de bases en la mayoría de las plantas. Fuente: Albrecht *et al.* (1960).

Calcio (Ca) <sup>++</sup> min 1000 ppm	60% — 85% Óptimo 68%	Ca y Mg juntos deberían sumar 80% de la capacidad de intercambio en la mayoría de los suelos agrícolas de pH 7 y menos
Magnesio (Mg) <sup>++</sup> min 100 ppm	10% — 20% Óptimo 12%	
Potasio (K) <sup>+</sup> min 100 ppm	2% — 5% Óptimo 4%	Vea Fósforo (P)
Sodio (Na) <sup>+</sup> min 25 ppm	1% — 4% Óptimo 1.5%	Esencial para humanos y animales
Hidrógeno (H) <sup>+</sup>	5% — 10% Óptimo 10%	Un protón solitario. El “agente libre”

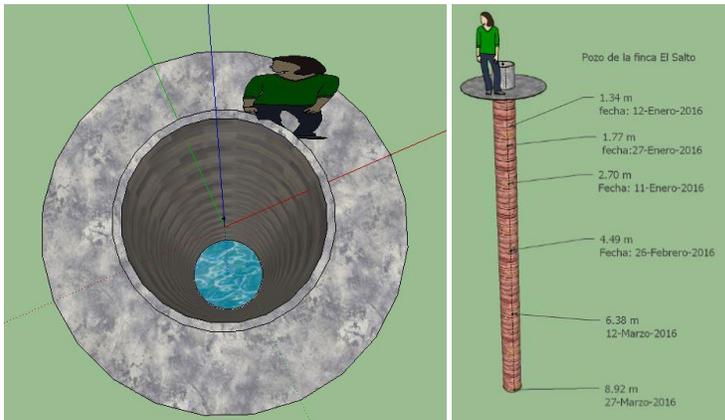
**Anexo 9.** Hongos encontrados en las trampas de arroz después de 7 días.



**Anexo 10.** Cromatografías en papel, según Restrepo y Pinheiro (2011).



**Anexo 11.** Evaluación y monitoreo del pozo, finca el salto.



**Anexo 12.** Diseño establecido, agua y suelo cosechado.

**ANTES**



**AHORA**

