

**Potencial de captura de agua de los suelos de la
microcuenca El Carrizal, Parque Nacional La
Tigra, Francisco Morazán, Honduras**

**Tito Lavaire Cruz
Elwuin Edgardo Fiallos**

Zamorano, Honduras
Diciembre, 2010

ZAMORANO
CARRERA DE DESARROLLO SOCIOECONÓMICO Y AMBIENTE

Potencial de captura de agua de los suelos de la microcuenca El Carrizal, Parque Nacional La Tigra, Francisco Morazán, Honduras

Proyecto especial presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero en Desarrollo Socioeconómico y Ambiente en el Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

Tito Lavaire Cruz
Elwuin Edgardo Fiallos

Zamorano, Honduras
Diciembre, 2010

Potencial de captura de agua de los suelos de la microcuenca El Carrizal, Parque Nacional La Tigra, Francisco Morazán, Honduras

Presentado por:

Elwuin Edgardo Fiallos López
Tito Lavaire Cruz

Aprobado:

Gloria Arévalo de Gauggel, M.Sc.
Asesora principal

Arie Sanders, M.Sc.
Director
Carrera Desarrollo Socioeconómico y
Ambiente

Luis Alonso Caballero, M.Sc.
Asesor

Raúl Espinal, Ph.D.
Decano Académico

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

RESUMEN

Fiallos, E. y Lavaire, T. 2010. Potencial de captura de agua de la microcuenca El Carrizal, Parque Nacional La Tigra, Francisco Morazán, Honduras. Proyecto especial de graduación del programa de Ingeniería en Desarrollo Socioeconómico y Ambiente, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Honduras. 48p.

El acceso al agua es una necesidad humana básica que determina la calidad de vida de las sociedades. Las sociedades modernas, se enfrentan a una escasez de agua cada vez mayor, que pueden afectar el nivel de desarrollo de las comunidades. Actualmente Tegucigalpa, la capital de Honduras, sufre por déficit de agua en un 48% durante la época de verano. Por medio del presente estudio se determinó el potencial de aporte de agua de la microcuenca El Carrizal. Para ello se realizó muestreo y descripción de perfiles de suelo basados en las pendientes predominantes en la cuenca. En dicho muestreo se determinó las familias texturales predominantes, la profundidad efectiva de los suelos y su capacidad de almacenamiento de agua. Con dichas características se calculó y comparó el balance hídrico de la cuenca para el año 2008 y 2009. El área estudiada correspondió a 785 ha, de las cuales el 78% correspondió a suelos con profundidad efectiva de 0 a 60 centímetros, con texturas de predominancia media sobre finas (M/F+)/G. La microcuenca presentó una conductividad hidráulica moderadamente rápida (1.1 m/día). La capacidad de recarga hídrica total de la microcuenca El Carrizal es de 2, 748,400 m³/año con la cual se puede abastecer una población 75,299 habitantes/año.

Palabras clave: Conductividad hidráulica, familias texturales, recarga hídrica, suelo.

CONTENIDO

Portadilla	i
Página de firmas	ii
Resumen	iii
Contenido	iv
Índice de cuadros, figuras y anexos.....	v
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA	4
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	9
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	21
5. CONCLUSIONES	39
6. RECOMENDACIONES	40
7. LITERATURA CITADA.....	41
8. ANEXOS	43

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadro	Página
1. Clasificación de los suelos según la pendiente.....	9
2. Análisis químicos y métodos a utilizar.....	15
3. Clasificación de la conductividad hidráulica según su velocidad de escurrimiento ..	16
4. Valores de capacidad de campo y punto de marchitez permanente según familia textural.....	17
5. Observaciones realizadas por pendientes en la microcuenca El Carrizal, Parque Nacional, La Tigra, Francisco Morazán.....	21
6. Profundidad efectiva de los suelos en la microcuenca El Carrizal, Parque Nacional La Tigra, Francisco Morazán, Honduras.....	22
7. Profundidad efectiva de las descripciones de perfiles de la microcuenca El Carrizal, PNLT, Francisco Morazán, Honduras.....	25
8. Colores encontrados en las barrenaciones descritas en la microcuenca El Carrizal, PNLT, Francisco Morazán, Honduras.....	26
9. Familias texturales descritas en perfiles y barrenaciones en la microcuenca El Carrizal, PNLT, Francisco Morazán, Honduras.....	27
10. Estructuras encontradas en las descripciones de perfil realizadas en la microcuenca El Carrizal, PNLT, Francisco Morazán, Honduras.....	29
11. Consistencia en húmedo de los perfiles y barrenaciones descritos en la microcuenca El Carrizal, PNLT, Francisco Morazán, Honduras.....	29
12. Consistencia en mojado de los perfiles y barrenaciones descritos en la microcuenca El Carrizal, PNLT, Francisco Morazán, Honduras.....	30
13. Análisis de resultados de la prueba química del primer horizonte de los perfiles descritos en la microcuenca El Carrizal, PNLT, Francisco Morazán, Honduras.....	31
14. Clasificación taxonómica de los suelos de la microcuenca El Carrizal, PNLT, Francisco Morazán, Honduras.....	32
15. Conductividad y agua almacenable según la profundidad efectiva y familia textural.....	34
16. Precipitación, evaporación y balance hídrico mensual 2008 - 2009	35
17. Precipitación en exceso diario y mensual con base a familias texturales.....	37
18. Recarga anual del acuífero de la microcuenca El Carrizal, PNLT, Francisco Morazán, Honduras.....	38
19. Capacidad de oferta de agua en la microcuenca El Carrizal, PNLT, Francisco Morazán, Honduras.....	38

Figura	Página
1. Ubicación geográfica de la microcuenca El Carrizal, Parque Nacional La Tigra, Francisco Morazán, Honduras.	11
2. Mapa de pendientes y ubicación de barrenaciones de la parte media y baja de la micocuenca El Carrizal, Parque Nacional La Tigra, Francisco Morazán, Honduras. .	13
3. Mapa de ubicación de las descripciones de perfiles realizadas en la microcuenca El Carrizal, PNLT, Francisco Morazán, Honduras.	14
4. Mapa de pendientes y zonas de vida encontrados en la microcuenca El Carrizal, Parque Nacional La Tigra, Francisco Morazán, Honduras.	23
5. Descripción de perfiles y horizontes diagnósticos encontrados a distintas elevaciones encontrados en la microcuenca El Carrizal, Parque Nacional La Tigra, Francisco Morazán, Honduras.	24
6. Mapa de familias texturales de los suelos de la microcuenca El Carrizal, Parque Nacional La Tigra, Francisco Morazán, Honduras.	28
7. Profundidad y Familias texturales de los perfiles de la microcuenca El Carrizal, Parque Nacional La Tigra, Francisco Morazán, Honduras.	32
8.	

Anexo	Página
1. Valores de punto de marchitez permanente y capacidad de campo según la textura.	43
2. Meses de recarga hídrica de los suelos de la microcuenca El Carrizal, PNLT, Francisco Morazán, Honduras.	43
3. Descripción de perfiles de las diferentes muestras de suelo evaluadas.	44
4. Ubicación geográfica de barrenaciones y perfiles descritos en la microcuenca El Carrizal, PNLT, Francisco Morazán, Honduras.	47

1. INTRODUCCIÓN

Un ecosistema en equilibrio consiste en la relación entre suelo, agua y vegetación las cuales son esenciales para la mantener la calidad de vida de los seres vivos (Engda 2009).

Los recursos naturales son insumos claves para la subsistencia y desarrollo de muchas comunidades pobres en los países en vía de desarrollo. Es por ello que la protección y el manejo sostenible de los ecosistemas es un elemento vital para las estrategias en la reducción de la pobreza (PNUMA, 2008).

La región latinoamericana presenta una gran riqueza en recursos naturales, demostrando una alta diversidad de suelos, recursos hídricos y especies biológicas, entre otros. Sin embargo, esta misma riqueza en recursos naturales se encuentra condicionada por una distribución desigual provocando la falta de oportunidades para algunas zonas de la región. La degradación de dichos recursos se ve reflejada especialmente en la degradación de los suelos, deforestación y contaminación de las principales fuentes de agua las cuales generan un impacto negativo en los procesos productivos, deterioro y aumento de los costos de la calidad de vida (Ovalles, 2006). Mesoamérica por su parte, se encuentra en el tercera región con mayor degradación en los suelos, con un total de 63 millones de hectáreas (26%) del total mundial, después de Asia y África (PNUMA, 2000). La erosión de suelo se observa de manera significativa en las áreas de laderas, donde los constantes cambios en la cobertura vegetal aumentan la velocidad de escorrentía y con esto a la exposición de los subsuelos (Ovalles, 2006).

La presencia de vegetación, en especial la cobertura boscosa, influye en los procesos hidrológicos, debido a que modifican la estructura de los suelos, al incorporar materia orgánica, lo cual aumenta la cantidad de espacios porosos en el suelo y tiene como efecto la disminución de la escorrentía superficial y aumentó en la capacidad de infiltración. Además, protege el suelo de la radiación solar y de la fuerza de impacto de las gotas de lluvia, que permite que se reduzca la evaporación del agua en el suelo, y mejorando la disponibilidad de la misma a lo largo de año (TRAGSA Y TRAGSATEC, 1994).

Los recursos forestales forman parte de las principales riquezas de los países de América Latina y el Caribe, los cuales representan el 47% de las tierras, que equivalen al 22% del total de la cobertura forestal mundial. Sin embargo, la cobertura forestal en Centro América ha disminuido en un 19% debido a diversas causas, pero la principal se debe al cambio en el uso de los suelos de potencial forestal para la producción agrícola.¹

¹ Situación de los bosques del mundo, 2007.

La relación entre la cobertura boscosa y los regímenes de precipitación influyen en la oferta de agua disponible para cada sitio. En el caso de Honduras, es el país de la región centroamericana con mayor potencial hídrico, debido a que el 80% del territorio es de vocación forestal, determinado por su sistema interconectado de montañas y cordilleras que cruzan el país. Y cuenta con un régimen de precipitación que aporta hasta 13,500 m³/habitante/año; el cual es 13 veces superior del mínimo requerido que es de 1,000 m³/habitante/año (UNAT, 2010).

Honduras cuenta con 21 cuencas hidrográficas (SANAA, 2009) que drenan sus aguas a la vertiente del Atlántico y del Pacífico, las cuales se dividen en la cadena montañosa que comienza en el departamento de El Paraíso cruzando el Distrito Central, Lempira, Intibucá y terminando en el departamento de Ocotepeque.

La vertiente del Pacífico presenta características topográficas montañosas de origen volcánico, lo que hace que las cuencas hidrográficas sean más cortas en longitud, con mayores pendientes y suelos superficiales con menor capacidad de infiltración. Así mismo, la recarga hídrica de los ríos es menor durante los meses de precipitación (Mayo a Octubre) lo cual genera severos problemas de disponibilidad de agua durante los meses de poca precipitación (Noviembre a Abril), (SANAA, 2009). A causa de esto en Honduras sólo se está aprovechando aproximadamente el 2% del caudal producido por los ríos, el resto se pierde y desemboca directamente en el mar (UNAT, 2010). Esto concuerda con el nivel de desarrollo alcanzado por los pobladores de la región centro-sur de estas cuencas, en el cual se encuentran el 90% de los municipios más pobres del país, incluidos el Distrito Central, Choluteca y Valle, entre otros, pertenecientes a la cuenca del Río Choluteca (SANAA, 2009).

Tegucigalpa, la Capital de Honduras, sufre de escasez de agua durante la época seca teniendo una oferta de 1,800 litros por segundo, y una demanda actual de 3,800 litros por segundo generada por aproximadamente 1.5 millones de habitantes que residen en esta ciudad y zonas aledañas, lo cual cubre únicamente el 48% de la demanda de agua (La Tribuna, 2010). La poca oferta de agua se debe a la pérdida de la cobertura forestal que como se mencionó trae consigo la disminución de la capacidad de almacenamiento de agua de las cuencas, así como el aumento en el drenaje natural (escorrentía), con mayor velocidad y mayor arrastre de sedimentos generando erosión y pérdida de suelos.

Las principales fuentes de abastecimiento para la capital son las represas Los Laureles y La Concepción y el agua proveniente del Parque Nacional La Tigra, este último aporta más del 30% del agua consumida en la capital. Por lo cual su manejo está destinado a la preservación de los bosques, protección de la vida silvestre, producción de agua y ecoturismo.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo general

- Determinar la capacidad de recarga hídrica de los suelos en la microcuenca El Carrizal, Parque Nacional La Tigra, Francisco Morazán, Honduras.

1.1.2 Objetivos específicos

- Validar el estudio de suelos como herramienta para cuantificar la recarga hídrica en una microcuenca.
- Determinar la oferta per cápita de agua para consumo de la microcuenca de El Río El Carrizal.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

El suelo se define como “material de origen mineral u orgánico no consolidado, que cubre la superficie terrestre y sirve como medio natural para el crecimiento de las plantas” (Arévalo y Gauggel, 2008). Para que se de la formación del suelo, existen una serie de factores químicos, físicos y biológicos, que influyen directamente en los procesos de desintegración, descomposición y recomposición del material mineral de la roca madre de la cual proceden los suelos, a este proceso se le conoce como intemperismo (Hillel, 2004).

Cuando se habla de horizontes, se hace referencia a “la progresiva diferenciación de capas más o menos paralelas al superficie del terreno” (Porta, 2008). Los cuales poseen características físicas y químicas determinadas por los procesos formadores del suelo.

2.1 PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO

Desde el punto de visto hidrológico, las propiedades físicas del suelo permiten determinar su estabilidad del suelo y tener un mejor conocimiento sobre el manejo de los recursos hídricos. Las propiedades físicas del suelo se pueden clasificar según sus características y cualidades. Las características del suelo (textura, estructura, materia orgánica, etc.) responden al hecho de que son medibles y las cualidades de adaptabilidad que posee el suelo con respecto al tipo de uso que se le quiera dar a este (erodabilidad, profundidad, etc) (TRAGSA y TRAGSATEC, 1994).

2.1.1 Textura

La textura indica la proporción de arena, limo y arcilla presentes en el suelo (Farías, 1994). Esta propiedad es determinante para conocer la capacidad que tienen los suelos de brindar nutrientes a las plantas y mantener los espacios porosos en el suelo (Gavande, 1973).

Las propiedades del tamaño de las partículas que tiene mayor efecto en la retención de agua en el suelo son los porcentajes de arena, limo, arcilla, arenas finas y gruesas, arenas muy gruesas y los fragmentos gruesos mayores de 0.2 cm (Maidment, 1992). Sin embargo, son las arcillas las que tiene mayor influencia en el comportamiento de los procesos físicos y químicos que se dan en el suelo (Hillel, 2004). Esto se debe a que las arcillas constituyen la fracción coloidal presente en el suelo y poseen mayor área superficial que la arena y el limo. Estas últimas no tienen la capacidad de absorber y almacenar agua como lo hacen las arcillas (Jury, 1991).

2.1.2 Estructura

Según FitzPatrick (1985) “Es la distribución espacial y a la organización total del suelo, determinado por el grado y tipo de agregación y por la naturaleza y distribución de los poros y los espacios porosos”. La estructura es una propiedad dinámica en el suelo, ya que depende del clima y del estado de humedad del horizonte a lo largo de un periodo de tiempo, y esto a su vez influye en la calidad de los suelos y su fertilidad (Porta, 2008). A su vez está sujeta a la dominancia de alguno de los procesos físicos, químicos, biológicos y mecánicos, que determinarán el tipo de estructura que se formará a través del tiempo (TRAGSA y TRAGSATEC, 1994).

La estructura tiene influencia directa en la forma como el suelo actúa ante los procesos de infiltración, almacenamiento y movimiento de agua, la entrada y salida de gases, facilidad de laboreo, la erosionabilidad del suelo y la capacidad de servir como hábitat para los organismos que habitan en él (Porta, 2008).

La estabilidad de la estructura, se refiere a la capacidad que tienen los agregados del suelo a resistir procesos de desintegración influenciados por el agua y procesos de manipulación mecánica (Jury, 1991). Los agregados que tienen la capacidad de resistir los procesos de desagregación por efectos del agua, permiten una mayor velocidad de infiltración y menor susceptibilidad ante procesos erosivos (Farías, 1994).

2.1.3 Densidad de las partículas del suelo

Según Farías (1994), la densidad del suelo “es la relación entre la masa de las partículas y el volumen que ocupan”. De esta característica dependen los procesos de retención y transporte de agua que se dan en el suelo, los cuales se ven influenciados por las características de las partículas presentes en el suelo, los espacios porosos y el agua (Jury, 1991). Mientras que la densidad aparente es el peso de una unidad de volumen de suelo seco, la cual está influenciada por la densidad de las partículas y los espacios porosos del suelo (Arévalo y Gauggel, 2009).

2.1.4 Porosidad

“La porosidad es el volumen de agua y aire contenido en una unidad de volumen del suelo” (Farías, 1994). La porosidad está definida por la forma, tamaño y la agrupación de las partículas (TRAGSA y TRAGSATEC 1994). En general está es una característica que permite evaluar el estado de los suelos con respecto a la circulación de agua y aire en el suelo.

En el suelo existe la porosidad efectiva, que es la que permite el movimiento del agua en el suelo, sin embargo, pueden existir poros dentro de los agregados del suelo, por lo que los valores de la porosidad no refleja el movimiento real del agua a través de los horizontes, por lo que es necesario recurrir a medir la velocidad del agua a través del suelo por medio de la conductividad hidráulica (Porta, 2008).

2.2 RETENCIÓN DE AGUA EN EL SUELO

Se refiere a la cantidad de agua por unidad masa ó volumen que el suelo es capaz de retener (Hillel 2004). Esta fuerza de retención también afecta los procesos que ocurren en el suelo, que incluye la capacidad que tienen las plantas de extraer el agua almacenada en el suelo, el drenaje interno y el movimiento del agua y los solutos en contra de la gravedad (Jury, 1994).

A su vez el grado de humedad con que cuenta el suelo, influye en la entrada de la precipitación en el suelo, ya que si un suelo se encuentra saturado, no será capaz de absorber más agua. Esto se ve reflejado en sitios con bajas pendientes y zonas de depresión, debido al agua que escurre desde las partes altas y nivel freático (FitzPatrick, 1985).

2.3 MOVIMIENTO DEL AGUA EN EL SUELO

El movimiento natural del agua está influenciado por la gravedad, es por ello que el agua al entrar en contacto con el suelo tiende a infiltrarse a través de los espacios porosos presentes en el mismo. Por tanto el agua cumple con lo establecido por la “ley de transporte”, que indica: “El flujo de energía o materia a través de un medio dado es directamente proporcional al gradiente de energía entre dos puntos en estudio, y es inversamente proporcional a la capacidad que tiene el medio para conducir la materia ó energía” (Fariás 1994). La cual está dada la ecuación:

$$f_i = K_i * \Delta E_i$$

Donde: f_i es el flujo de energía o materia; K_i , es la conductividad para el medio para i y ΔE_i , es el gradiente para la energía de i . Sin embargo, esta ley considera que el sistema en el que se da el flujo es estable, es decir que los espacios porosos a través del cual se mueve el fluido es constante y de iguales dimensiones.

El agua se mantiene en movimiento constante, pero depende de la cantidad de agua disponible y del tipo de suelo. En los suelos se pueden encontrar dos tipos de movimientos: flujo saturado y flujo no saturado.

2.3.1 Flujo no saturado

En el cual el agua fluye entre los espacios porosos o a través de las partículas. El movimiento de agua puede darse en cualquier dirección. En general cuando el suelo no está saturado el movimiento natural del agua será hacia abajo debido a la gravedad. El flujo de agua en suelos no saturados suele ser la principal causa de lixiviados de los mismos (FitzPatrick, 1985).

2.3.2 Flujo saturado

Se da cuando los poros del suelo están ocupados por agua. El movimiento del agua puede darse en cualquier dirección, ya sea de forma vertical u horizontal, dependiendo de la existencia de capas impermeables dentro del suelo. La tasa de flujo o velocidad del agua en el suelo está determinada por la fuerza hidráulica y la conductividad hidráulica. Al igual que en los flujos no saturados, este movimiento depende del tamaño y la distribución de los poros en el suelo (FitzPatrick, 1985).

2.4 CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA

Es una medida de la capacidad que tiene el suelo de transmitir agua a través de él y depende de las características del suelo y de los fluidos. También depende de la porosidad, el tamaño, distribución y continuidad de los poros (Maidment, 1992).

Fue hasta 1856, que Henry Darcy, un ingeniero francés observó el movimiento del agua a través de columnas de arena, utilizando flujos de saturación continua (Farías, 1994), en la cual observó que:

- La cantidad de agua percolada es directamente proporcional a la carga hidráulica.
- Que la proporcionalidad es producto de una serie de variables difíciles de evaluar y que algunos de esas variables están en función de los poros presentes en el suelo.

Según FitzPatrick (1985), si se añadiera agua de forma constante a una columna de arena, esta parcelaría rápidamente, mojando el suelo a mayores profundidades. Caso contrario, si se añadiera agua de la misma manera a un suelo de textura franca de buena estructura, en la cual el agua presenta un flujo interno más lento, las partículas de suelo se saturarán con mayor facilidad. Una vez que los suelos comienzan a sufrir procesos de sequedad, las partículas permitirán el movimiento del agua de las partes internas hacia las áreas externas, mejorando la humedad del suelo a lo largo del tiempo.

Aplicando el mismo concepto a suelos de texturas arcillosas, el resultado sería totalmente contrario a lo observado en las arenas. En las arcillas el movimiento del agua es más lento, por lo que rara vez se drena. Cuando comienza la sequedad de los suelos, estos tienden a perder agua de forma más rápida por efecto de la evaporación y del agrietamiento, en cambio cuando hay exceso de humedad, tienden a humedecer las partes profundas del suelo debido a las grietas formadas anteriormente, con lo cual comienzan un proceso de rehumedecimiento desde la parte baja hacia arriba y posteriormente de manera horizontal al alcanzar los niveles de saturación. (FitzPatrick, 1985).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio comprende la microcuenca El Carrizal, ubicada en el Parque Nacional La Tigra Francisco Morazán, Honduras (Figura 1). La microcuenca El Carrizal forma parte de la cuenca del Río Choluteca que drena sus aguas al Océano Pacífico. Se seleccionó como área de estudio la parte media y baja de la microcuenca, tomando como base el mapa de pendientes y la cercanía a las zonas en las que se encuentran ubicados los vertederos tipo “V” y pluviómetros, utilizados para medir el caudal y la precipitación que generada por la cuenca; esto con el fin de tener una mejor relación entre los suelos y los datos climatológicos.

3.2 CRITERIOS DE MUESTREO

El área de estudio se delimitó utilizando imágenes satelitales y hojas cartográficas con escala de 1:50,000. Se utilizó el mapa de curvas a nivel para agrupar los suelos por las pendientes, y se clasificaron de acuerdo a los rangos propuestos por Mickelsen (1977) (Cuadro 1). El muestreo consiste en la selección de sitios específicos en los cuales se hicieron descripciones físicas de los suelos. Las cuales incluyen barrenaciones y calicatas. Para ello se consideró la topografía del terreno, accesibilidad y el tiempo disponible para realizar el estudio. Por lo cual se realizó un estudio exploratorio, a fin conocer de forma general las características pedológicas de la microcuenca. La toma de muestras se realizó entre los meses de Mayo y Septiembre del año 2010.

Cuadro 1. Clasificación de los suelos según la pendiente.

Rango de Pendiente	Clasificación de la pendiente
0 – 3	Planas o casi planas
3 – 7	Ligeramente planas
7 – 12	Moderadamente inclinadas
12 – 25	Inclinadas
25 – 50	Fuertemente inclinadas
50 – 75	Escarpadas
> 75	Fuertemente escarpadas

Fuente: Mickelsen, 1977.

Utilizando un modelo de elevación digital (DEM) se elaboró el mapa de pendientes, por medio del programa Arc GIS. A partir de este mapa se realizó el muestreo de suelos por el método de transectos, el cual consiste en trazar una línea base sobre la cual se harán la toma de muestras. En este caso se tomó como línea base los senderos y carreteras existentes en la cuenca y a partir de ellas se trazaron líneas perpendiculares, siguiendo la dirección de las pendientes. Las barrenaciones a realizar se establecieron por las pendientes predominantes, en total se realizaron 28 barrenaciones y posteriormente 10 descripciones de perfiles (Figura 2 y 3).

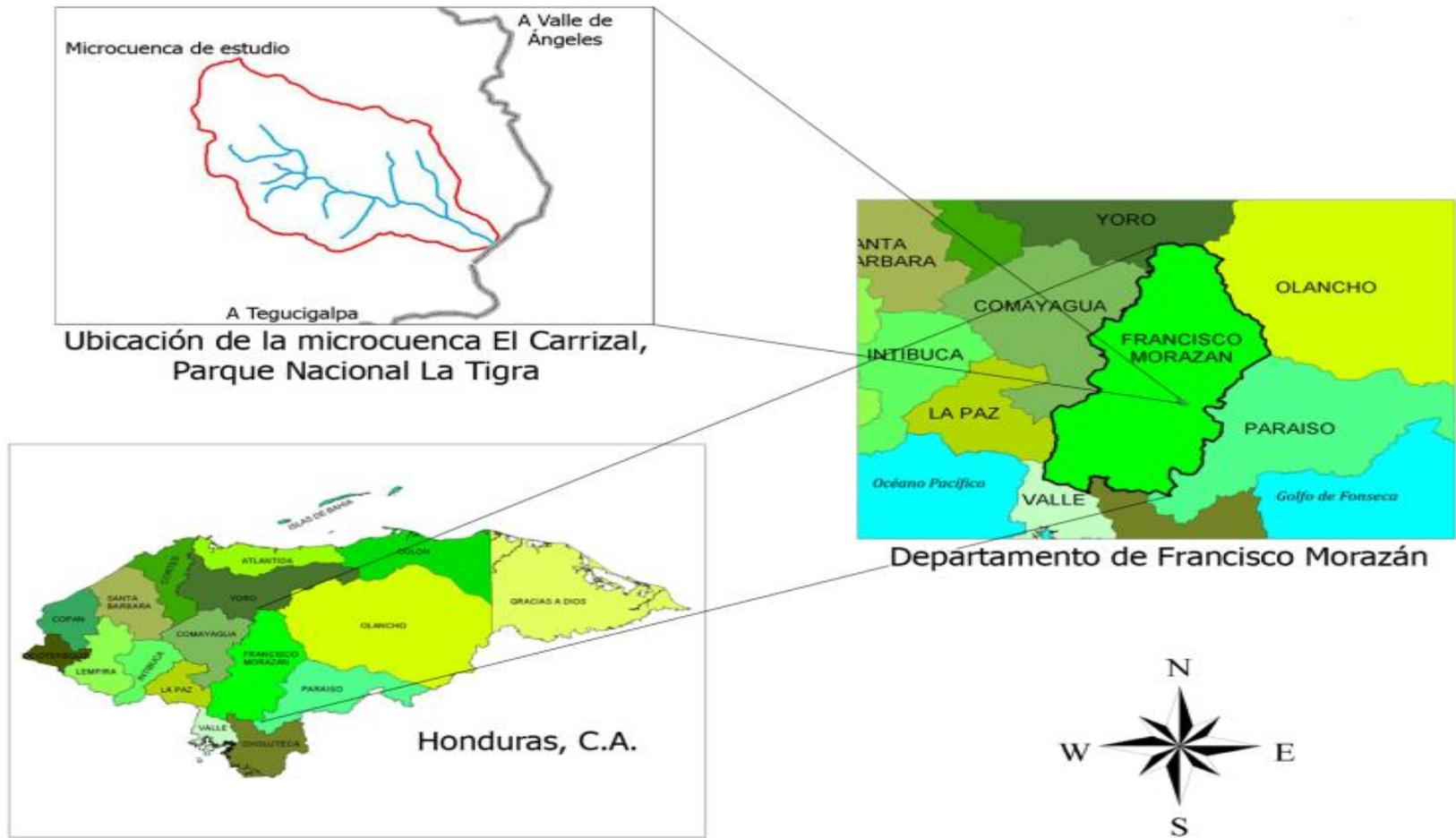


Figura 1. Ubicación geográfica de la microcuenca El Carrizal, Parque Nacional La Tigra, Francisco Morazán, Honduras.

2.3 CARACTERIZACIÓN DE LOS SUELOS

Se realizó un total de 28 barrenaciones ubicados de acuerdo a la pendiente (Figura 2); posteriormente se realizaron 10 descripciones de perfiles para evaluar las propiedades físicas de los suelos. Las propiedades físicas y morfológicas descritas para cada perfil fueron: Textura (método organoléptico al tacto y método de Bouyoucus), estructura, poros, raíces, pedregosidad, resistencia a la penetración (Penetrómetro), color (Tabla Munsell), profundidad efectiva (Cinta métrica) (Arévalo y Gauggel 2009).

La consistencia de los suelos fue medida en húmedo y mojado, debido a que el estudio se realizó durante la época lluviosa (Mayo a Septiembre) y los suelos se encontraban con humedad y en algunos casos saturados por el exceso de agua, lo que no permitió medir su consistencia en seco.

De cada descripción del perfil del suelo se recolectaron muestras disturbadas de cada horizonte, las cuales fueron llevadas al laboratorio para medir su densidad aparente, las muestras se colocaron en un cilindro de volumen conocido y se pesaron en húmedo; posteriormente fueron secadas a 105 C° durante 24 horas. La densidad aparente se calculó como el promedio de la densidad aparente de cada horizonte, mediante la siguiente ecuación. (Ecuación 1).

$$Dap = \frac{m}{v} \quad [1]$$

Donde Dap , es la densidad del suelo (g/cm^3), m es la masa del peso seco de la muestra (g) y v es el volumen del cilindro (cm^3).

La densidad real se estimó en 2.3 g/cm^3 multiplicada por el tipo de arcilla según la cantidad de la misma en el suelo.

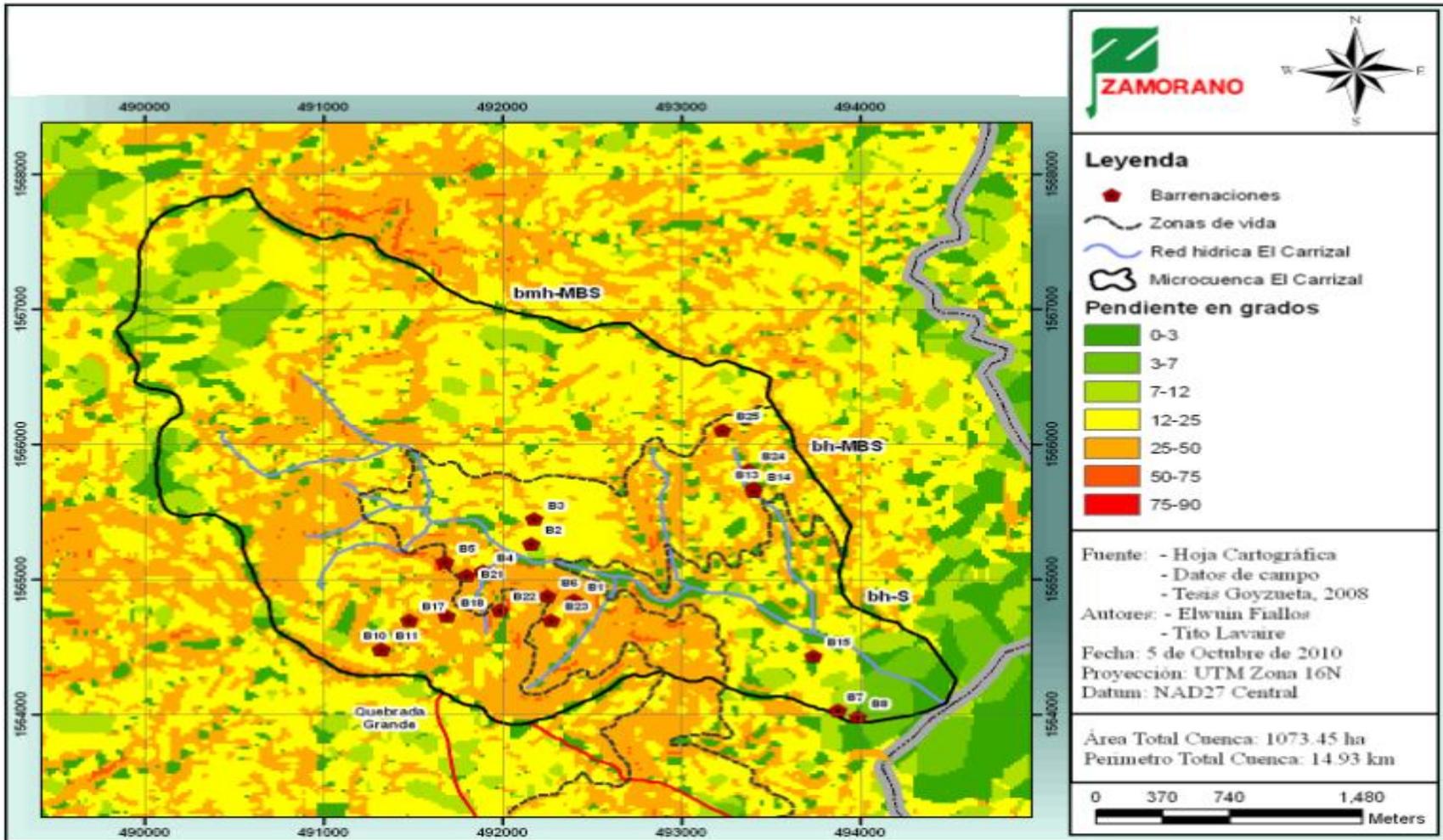


Figura 2. Mapa de pendientes y ubicación de barrenaciones de la parte media y baja de la micocuenca El Carrizal, Parque Nacional La Tigra, Francisco Morazán, Honduras

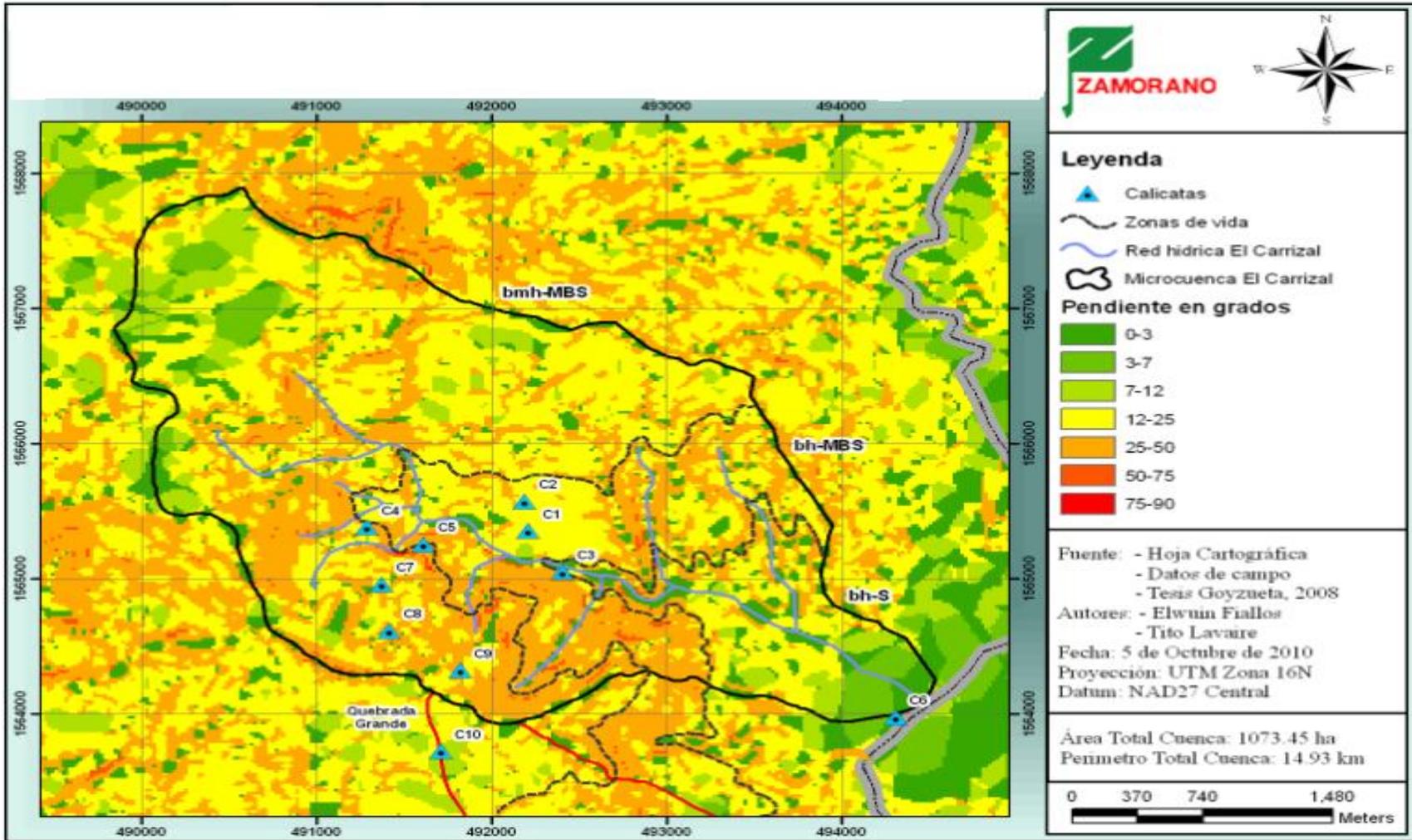


Figura 3. Mapa de ubicación de las descripciones de perfiles realizadas en la microcuenca El Carrizal, PNLT, Francisco Morazán, Honduras.

Una vez obtenida la densidad aparente y la densidad real, se calculó el porcentaje de espacios porosos (Ecuación 2).

$$\%EP = 100 - \left(\frac{Dr}{Dap} * 100 \right) \quad [2]$$

Donde: %EP, es el porcentaje de espacios porosos, *Dr*, la densidad real y *Dap*, la densidad aparente.

De igual forma se tomaron muestras de los primeros horizontes de cada perfil para determinar sus propiedades químicas. Las muestras fueron analizadas en el Laboratorio de Aguas y Suelos de la E.A.P. donde se evaluó la fertilidad de los suelos (Cuadro 2).

Cuadro 2. Análisis químicos y métodos a utilizar

Propiedades Químicas	Método
Materia Orgánica	Walkley & Black
Fósforo	Solución extractora Mehlich 3 (Colorimetría)
Nitrógeno	5% de la materia orgánica
pH	Relación agua suelo 1:1
Bases (Ca, Mg, K) y microelementos (Fe, Mn, Zn, Cu)	Solución extractora Mehlich 3 (Absorción atómica)

Fuente: Arévalo, G y Gauggel C. 2009.

2.4 CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS

Basados en la descripción de los perfiles de suelo y sus características físicas y químicas, los suelos fueron clasificados utilizando la clave taxonómica americana (Soil Survey Staff, 2009) la cual se basa en la descripción de horizontes diagnósticos, los cuales son los que ayudan a determinar las cualidad y propiedades de los suelos. Posteriormente se asignó un nombre según la familia textural a la que pertenecen.

2.5 DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE CAPTURA DE AGUA

Para determinar el potencial de almacenamiento que poseen los suelos, se realizaron análisis de conductividad hidráulica por cada horizonte presente en cada perfil de suelos. Para ello se tomaron muestras disturbadas para cada horizonte y se utilizaron permeámetros de carga constante (Figura 3). El cual consiste en colocar un volumen de agua conocido sobre un volumen de suelo saturado durante 24 horas y posteriormente se le adiciona agua durante dos o más horas y se mide la velocidad de escurrimiento que presenta la muestra hasta que ésta se vuelva constante.

La conductividad hidráulica que presenta un suelo, es el resultado de los espacios porosos presente en ella, al igual que la textura y profundidad de los suelos. Por consiguiente una vez encontrado el valor de conductividad hidráulica para cada horizonte, este fue ponderado y multiplicado por la profundidad de cada horizonte para encontrar la conductividad hidráulica por perfil de suelo.

La medición de conductividad hidráulica se realizó por medio de muestras disturbadas de cada uno de los horizontes encontrados en los perfiles. A través de dos tubos de material de PVC ambos con una dimensión de 7 cm de largo y un diámetro de 4.3 cm .Se llenó con la muestra de suelo el de volumen total en uno de los cilindros, el cual contenía en su parte inferior un papel filtro y una rejilla metálica con el fin de no perder suelo durante el proceso. Posteriormente, se unió el segundo cilindro a la parte superior del cilindro que contiene la muestra de suelo, para ello se utilizó cinta adhesiva. Este cilindro es el que contenía el agua, manteniendo la cantidad de agua constante durante dos horas.

Se utilizó un cronometro para llevar los tiempos de medición los cuales se realizaron tomando el volumen de agua escurrido sobre una probeta graduada por minuto durante los primeros diez minutos; luego cada cinco minutos durante 50 minutos; y por ultimo cada diez minutos durante una hora. Teniendo un tiempo total de dos horas por cada muestra.

Una vez encontrados los valores de conductividad hidráulica, la textura y profundidad de los suelos, se aplico la Ley de Darcy, para calcular la velocidad a la que fluye a través del suelo en estado saturado (Ecuación 3).

$$Q = - K \times \left(\frac{dh}{dl} \right) \quad [3]$$

Donde, Q = caudal unitario (mm/h)

K = conductividad hidráulica (cm/h); y dh/dl , es el gradiente hidráulico del permeámetro y se clasificó de acuerdo a valores establecidos (Cuadro 3).

Cuadro 3. Clasificación de la conductividad hidráulica según su velocidad de escurrimiento.

Conductividad hidráulica (m/día)	Conductividad hidráulica (cm/h)	Clase
<0.2	<0.8	Muy lenta
0.2 – 0.5	0.8 – 2.0	Lenta
0.5 – 1.4	2.0 – 6.0	Moderada
1.4 – 1.9	6.0 – 8.0	Mod. Rápida
1.9 – 3.0	8.0 – 12.5	Rápida
>3.0	>12.5	Muy rápida

Fuente. FAO 1963, citado por Landon 1991.

3.6 CAMBIO DE ALMACENAMIENTO DE AGUA EN EL SUELO

3.6.1 Precipitación y evaporación

En la microcuenca se encuentran instaladas cuatro estaciones pluviométricas de registro “tipping bucket” los cuales registran la precipitación diaria que cae sobre la cuenca. Para el estudio se utilizó la precipitación diaria de las cuatro estaciones y de esta manera se obtuvieron los registros de precipitación de los años 2008 y 2009, con los que calculó la precipitación promedio mensual y determinó los meses de mayor precipitación promedio y su cantidad mm/día (Caballero, 2010).

La evaporación diaria para cada mes se estimó, utilizando valores de evaporación similares a los presentes en la zona del Valle de Yeguáre, de donde se cuenta con más de sesenta años de registros climatológicos, los cuales se ajustaron a las alturas encontradas en la microcuenca El Carrizal (Caballero, 2010).

Una vez obtenidos ambos valores, se realizó el balance hídrico y determinó el exceso de agua que forma parte de los procesos de almacenamiento, infiltración y escorrentía en el suelo.

3.7 CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO DE AGUA DE LOS SUELOS

La capacidad de almacenamiento de los suelos se calculó a partir de la textura y los datos de capacidad de campo y punto de marchitez permanente (Cuadro 4). Posteriormente se agrupó por familia textural, y se calculó el área que representa de la cuenca y se multiplicó el área por la profundidad efectiva (Ecuación 4).

Cuadro 3. Valores de capacidad de campo y punto de marchitez permanente según familia textural

Familia textural	CC* (%)	PMP** (%)
Fina	22.6	14.7
Medias	18.1	6.8
Gruesas	8.5	2.3

*CC= Capacidad de campo

**PMP= Punto de marchitez permanente

$$AAh = (\% \text{humedad a CC} - \% \text{humedad a PMP}) \times Dap \times (\text{Prof.} \div 100) \quad [4]$$

Donde: *AAh*, agua almacenable por horizonte

CC, capacidad de campo

PMP, punto de marchitez permanente

Dap, densidad aparente

Prof, es la profundidad efectiva del horizonte.

Para determinar el agua almacenable por perfil de suelo, se sumó el agua almacenada de los horizontes correspondientes al perfil (Ecuación 5). Posteriormente se multiplicó el agua almacenada de cada perfil por el número de hectáreas según la familia textural, para calcular el agua almacenable del suelo (Ecuación 6).

$$AAp = \sum AAh \quad [5]$$

Donde; AAp , es agua almacenable por perfil (mm); $\sum AAh$, la sumatoria de agua almacenable de los horizontes por perfil (mm).

$$AAs = AAp \times \text{Area} \quad [6]$$

Donde; AAs , agua almacenada del suelo (m^3); AAp , agua almacenada por perfil (m^3/ha); Área, área de suelo según familia textural (ha).

3.7 BALANCE HÍDRICO EN EL SUELO

3.7.1 Precipitación en exceso

Conociendo la capacidad de almacenamiento de agua del suelo según su familia textural, se calculó la precipitación en exceso mensual producida por la cuenca, realizando un balance hídrico con la precipitación y evaporación potencial media mensual (Ecuación 7). Posteriormente se calculó el exceso de agua promedio diario (Ecuación 8), para conocer anualmente los meses que producen exceso de agua

$$Qem = P - E - AAp \quad [7]$$

Donde; Qem , es precipitación en exceso mensual (mm/mes); P , precipitación media mensual (mm); E , evaporación potencial media mensual (mm); AAp , agua almacenable por perfil de suelo (mm).

$$Qed = \{ [Qem \times (10m^3/\text{mm})] \div \#días \} \quad [8]$$

Donde: Qed , precipitación en exceso diaria ($m^3/\text{día}/\text{mes}$); Qem , en exceso mensual (mm/mes); $10 m^3/\text{mm}$, factor de conversión a m^3 ; $\#días$, el número de días que llovió en el mes.

3.8 RECARGA HÍDRICA

Utilizando los datos de exceso de agua diaria y valores de conductividad hidráulica por familia textural, se calculó la capacidad de recarga hídrica del suelo (Ecuación 9). Se utilizó la recarga hídrica promedio mensual y el número de días por mes, para calcular la capacidad de recarga hídrica de la cuenca (Ecuación 10).

$$RHd = Qed - Kh \quad [9]$$

Donde; RHd , es recarga hídrica diaria (m/día); Qed , exceso de agua diaria (m/día); Kh , conductividad hidráulica por familia textural (m/día).

$$RHm = \left(\frac{\overline{RHd}}{10m^3/mm} \right) \times \frac{\#días}{mes} \times A \quad [10]$$

Donde, RHm , es recarga hídrica mensual de la microcuenca (mm/mes); \overline{RHd} , es recarga hídrica promedio diaria (m/día); 10, es el factor de conversión de mm de agua a m^3/ha ; $\#días/mes$; días de lluvia por mes A , área total de la microcuenca (ha).

3.9 ESCORRENTÍA

La escorrentía o precipitación efectiva, se calculó a través de la sumatoria de la recarga hídrica mensual de los meses que presentaron lluvias (Ecuación 11). Con ella se calculó el coeficiente de escorrentía (C), que es la relación entre escorrentía y precipitación total anual (Ecuación 12) (TRAGSA y TRAGSATEC, 1994).

$$Q = \sum RHm \quad [11]$$

Donde: Q , es la escorrentía total anual (mm); $\sum RHm$, sumatoria de la recarga hídrica mensual (mm/mes).

$$C = Q \div P \quad [12]$$

Donde: C , es coeficiente de escorrentía; Q , escorrentía anual (mm); P , precipitación total anual (mm).

3.3 RECARGA DEL ACUÍFERO

El objetivo principal del estudio es conocer la recarga del acuífero que abastece la cuenca, la cual se determinó a partir de los cálculos del exceso de agua y escorrentía (Ecuación 13). Posteriormente se calculó la recarga total del acuífero a partir del área de la microcuenca (Ecuación 14).

$$RHa = RHm - Esc \quad [13]$$

Donde: RHa , es la recarga hídrica del acuífero durante un año (mm/año); RHm , es el exceso de agua producido por la cuenca al año (mm/año); Esc , es la escorrentía generada en la cuenca durante un año (mm/año).

$$RHt = RHa \times 10 \times A \quad [14]$$

Donde: RHt , es potencial de recarga hídrica del acuífero ($m^3/año$); RHm , es exceso de agua de la cuenca en un año ($mm/año$); 10, es el factor de conversión de un mm (lámina de agua) a m^3/ha ; A , área total de la microcuenca.

Conociendo el potencial de recarga hídrica del acuífero, se calculó la cantidad de personas que podría abastecer durante un año, asumiendo que se recolecta toda el agua que produce la microcuenca y que una persona consume como mínimo 100 litros diarios y como máximo 250 litros diarios de agua (Ecuación 15).

$$Población = RHt / D \quad [15]$$

Donde: $Población$, es el número de personas que la microcuenca podría abastecer durante un año; RHt , es potencial de recarga hídrica del acuífero ($m^3/año$); D , demanda de agua de una persona durante un año ($m^3/año$).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 PROPIEDADES FÍSICAS Y MORFOLÓGICAS DEL SUELO

3.1.1 Ubicación de barrenaciones y descripciones de perfil

La microcuenca El Carrizal cuenta con un área de 10,734,000 m², de los cuales se caracterizaron 7, 853,500 m² que corresponde al 73% del área total. Con una altura máxima de 2, 270 m.s.n.m. y mínima de 1,320 m.s.n.m.

3.1.2 Clasificación de suelos por pendientes

Las pendientes rangos predominantes corresponden a pendientes inclinadas y fuertemente inclinadas (Cuadro 5). Las pendientes predominantes se encuentran distribuidas en toda la parte media de la microcuenca, (Figura 4) que corresponde a la zona con mayor cantidad de montañas. En la parte alta y baja presentan pendientes moderadamente inclinadas (12%). Debido a la distribución topográfica de la microcuenca, se encuentra mayor cantidad de habitantes en la parte alta y baja de la misma, las cuales realizan actividades de producción de hortalizas y turismo respectivamente.

Cuadro 4. Observaciones realizadas por pendientes en la microcuenca El Carrizal, Parque Nacional, La Tigra, Francisco Morazán.

Pendiente (grados)	Barrenación	Calicata
0 – 3	B8,B9,B15	C6
3 – 7	B19, B24	
7 – 12	B2, B16, B20, B25	C4, C10
12 – 25	B3, B7, B12, B17,B23	C1, C2, C7
25 – 50	B1, B4, B6, B10, B11 B13, B14, B18, B21	C3, C8, C9
50 – 75	B22	C5
75 – 90	B5	

3.1.3 Profundidad Efectiva

El 48% de las barrenaciones realizadas llegaron sólo a 60 centímetros de profundidad efectiva (Poco profundos), los cuales presentaron mayor humedad (27.4 %) y menor densidad aparente (1.24 g/cm^3) (Cuadro 6), seguidos de suelos con 90 centímetros de profundidad efectiva (moderadamente profundos), ubicados principalmente en la zonas altas de la microcuenca (Figura 5).

Cuadro 5. Profundidad efectiva de los suelos en la microcuenca El Carrizal, Parque Nacional La Tigra, Francisco Morazán, Honduras.

Profundidad efectiva (cm)	Número de barrenaciones	% de Área	Promedio	
			Humedad %	DAP(g/cm^3)
Superficial (0 – 30)	3	12		
Poco profundo (30 – 60)	12	48	27.4	1.24
Moderadamente prof.(60 – 90)	8	32	26.5	1.34
Profundo (90 - 120)	2	8	12.5	1.45

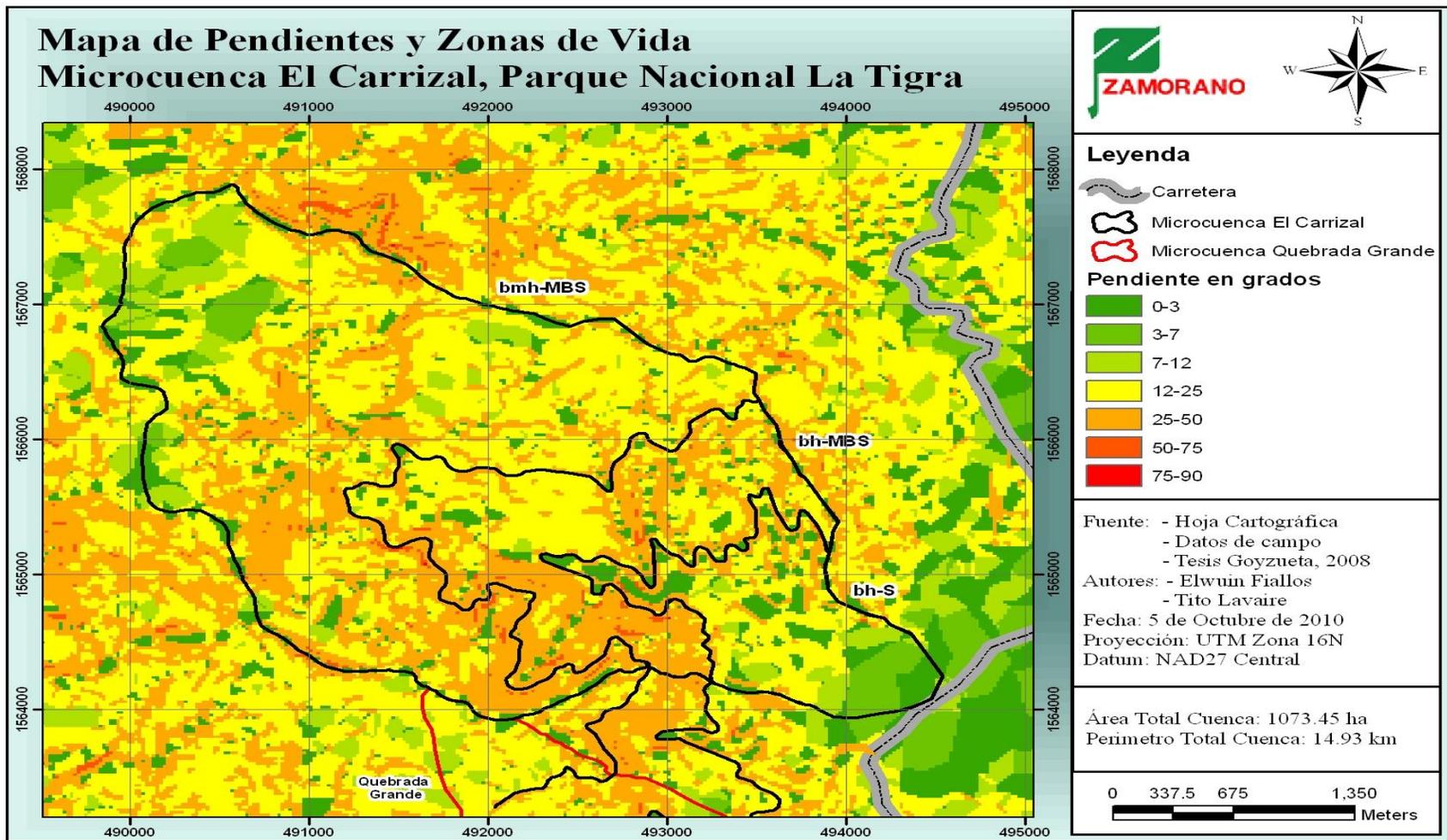


Figura 4. Mapa de pendientes y zonas de vida encontrados en la microcuenca El Carrizal, Parque Nacional La Tigra, Francisco Morazán, Honduras.

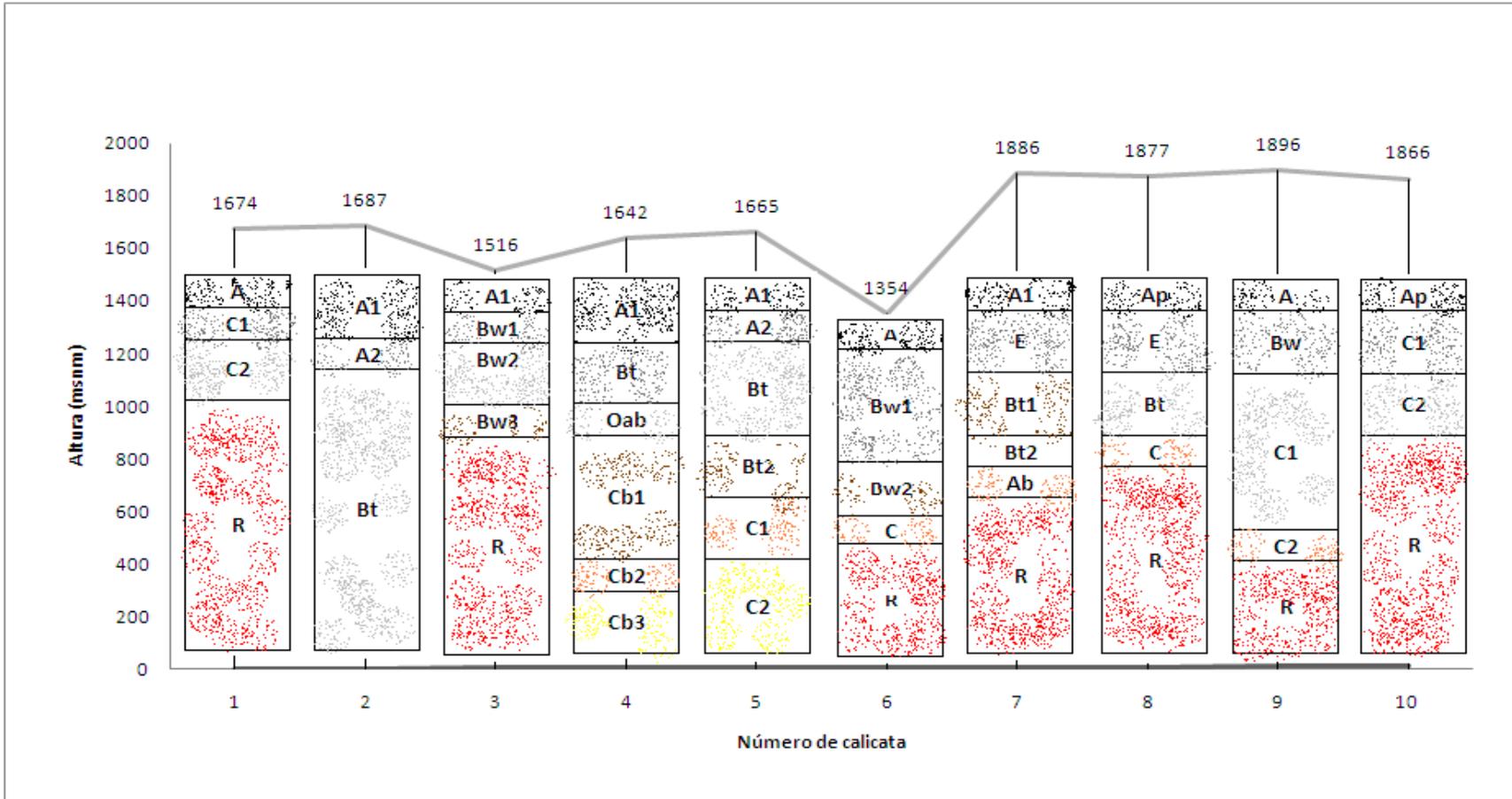


Figura 5 Descripción de perfiles y horizontes diagnósticos encontrados a distintas elevaciones encontrados en la microcuenca El Carrizal, Parque Nacional La Tigra, Francisco Morazán, Honduras.

Se realizaron 10 descripciones de perfiles, de las cuales cinco presentaron profundidades efectivas entre 60 y 90 centímetros (moderadamente profunda), con mayor porcentaje de humedad (33%) y menor densidad aparente (1.5g/cm^3) (Cuadro 7).

Cuadro 6. Profundidad efectiva de las descripciones de perfiles de la microcuenca El Carrizal, PNLT, Francisco Morazán, Honduras.

Profundidad efectiva (cm)	Número de calicatas	Promedio	
		Humedad %	DAP(g/cm^3)
Poco profundo (30 – 60)	1	16.9	1.8
Moderadamente prof. (60 – 90)	5	22.4	1.5
Profundo (90 - 120)	4	33.0	1.5

3.1.6. Color

El color más representativo encontrado en los diferentes horizontes descritos en la zona es el color pardo rojizo oscuro (2.5YR 3/3, 2.5YR 3/4, 5YR 2.5/4, 5YR 3/4, 5YR 3/3, 5YR 3/2) con un porcentaje del 19% de representatividad según el número de muestras tomadas (Cuadro 8). En general los colores pardos se encuentran en los horizontes intermedios del perfil, producto de la acumulación y translocación de la materia orgánica a los horizontes inferiores (Cuadro 8). Nuevamente la estructura tipo migajosa y la cantidad de poros son las principales características que tienen influencia sobre el resto de las características observadas.

3.1.7 Textura

Las texturas encontradas y de mayor representatividad fueron las texturas medias (Francas, franco arenosas, franco limosa) y muy finas (Franco arcillosas, franco arcillo limosas, Franco arcillo arenosas, arcillo limosa, arcillosa, arcillo arenosa); que juntas suman 615 ha de 785 ha, es decir, 78% del área total de muestreo (Cuadro 9). Estas texturas se encuentran entre los 60 y 90 centímetros de profundidad efectiva posteriormente de ellas se encuentran capas de rocas saprolíticas (rocas en proceso de destrucción por efectos físicos) y material parental consolidado.

Cuadro 7. Colores encontrados en las barrenaciones descritas en la microcuenca El Carrizal, PNLT, Francisco Morazán, Honduras.

Nombre	Código	Cantidad barrenaciones	%
Pardo	7.5YR 4/4, 7.5YR 4/6, 7.5YR 4/3	10	8.0
Pardo oscuro	7.5YR 3/3, 7.5YR 3/4, 10YR 3/3, 7.5 YR 3/2	14	11.0
Pardo oscuro grisáceo	5YR 3/2	1	1.0
Pardo fuerte	7.5YR 4/6, 7.5YR 5/6, 2.5YR 4/8, 7.5YR 5/8	9	7.0
Pardo muy oscuro	7.5YR 2.5/2, 7.5YR 2.5/3, 10YR 2/2	8	6.0
Pardo rojizo oscuro		24	19
Pardo rojizo	2.5YR3/3, 2.5YR3/4, 5YR2.5/4, 5YR3/4, 5YR3/3, 5YR 3/2	17	14
Pardo amarillento	2.5YR 4/4, 5YR 4/4, 5YR 5/4, 5YR4/3	3	2.0
Pardo amarillento	5YR 4/6, 10YR 5/8	6	4.8
oscuro	10YR 3/4, 10YR 4/6, 10YR 3/6	9	7.2
Rojo	2.5YR 4/6, 2.5YR 4/8, 2.5YR 5/8, 2.5YR 5/6	1	0.8
Rojo débil	2.5YR 5/4	2	1.6
Rojo oscuro	2.5YR 3/2	8	6.4
Rojo amarillento	5YR 4/6, 5YR 5/6	2	1.6
Negro	10YR 2/1, 5YR 2.5/1	3	2.4
Negro rojizo	2.5YR 2.5/1	1	0.8
Amarillo	10YR 7/6	3	2.4
Amarillo rojizo	7.5YR 6/8, 7.5YR 7/6	1	0.8
Amarillo parduzco	10YR 6/8, 5YR 4/2	1	0.8
Gris rojizo oscuro	7.5YR 8/4	1	0.8
Rosado			

Se encontraron suelos moderadamente profundos con texturas medias y muy finas sobre rocas (14.61%), suelos moderadamente profundos se encuentran localizados hacia las áreas más altas de la microcuenca (Figura 5). El tipo de textura encontrado concuerda con la etapa de formación y transición de los suelos en el cual las arcillas son producto de la degradación y desagregación de la roca madre y la acumulación y descomposición de materia orgánica por procesos bioquímicos.

Cuadro 8. Familias texturales descritas en perfiles y barrenaciones en la microcuenca El Carrizal, PNLT, Francisco Morazán, Honduras.

Profundidad efectiva (cm)	Símbolo	Área	
		ha	%
Muy superficial < 30	(M/G)/(G)	14.5	1.8
	(F+/G)/G	39.6	5.0
Superficial 30 - 60	M/G	114.0	14.5
	(M/F+)/G	273.0	34.7
	F+/G	228.0	29.1
Mod. Profundo 60 - 90	M/(M/G)	74.1	9.4
	(M/F+)/(F+/G)	24.7	3.1
	(M-F+/F+)/G	12.2	1.5
	F+/(F+/G)	3.8	0.4
Profundo < 120	(M-F+/F+)/M	1.3	0.1
	(M-F+/F+)/F+	0.2	0.0
Total		785.4	100

Símbolos: M, Medias; F+, Muy Finas; G: Roca; profundidades (00-30/36-60)/(60-90/90-120)

3.1.4 Estructura

Se encontró que los suelos presentan mayor frecuencia de estructuras tipo migajoso (42%), que indica el buen desarrollo de los mismos y que a pesar de estar influenciado por un régimen de precipitación ústico, presenta buen porcentaje de humedad aún en sus horizontes más profundos (Cuadro 10). Esto se debe a la baja densidad aparente ya que permite una mayor velocidad de infiltración de agua en el suelo. De igual manera la cobertura boscosa predominante en la microcuenca, aporta alto contenido de materia orgánica al suelo, favoreciendo a que no sean tan frágiles ante la evaporación y percolación.

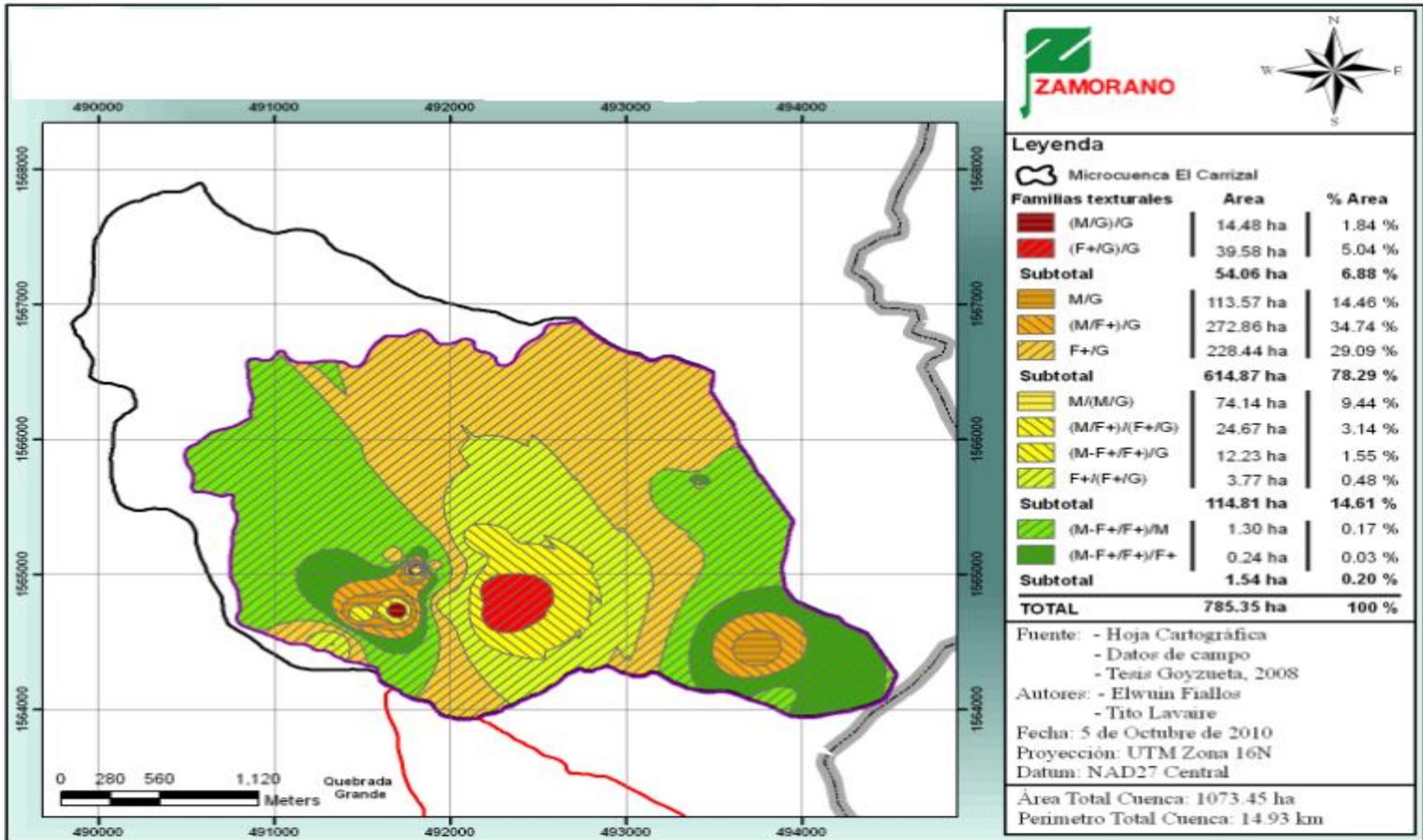


Figura 6. Mapa de familias texturales de los suelos de la microcuenca El Carrizal, Parque Nacional La Tigra, Francisco Morazán, Honduras.

Cuadro 9. Estructuras encontradas en las descripciones de perfil realizadas en la microcuenca El Carrizal, PNLT, Francisco Morazán, Honduras.

Estructura	Número de calicatas	Cantidad de horizontes	%
Masivo	1	4	9
Migajoso	2, 3, 4, 5, 6, 7	18	43
Granular	2, 7	2	5
Bloques angulares	9	1	2
Bloques subangulares	4, 5, 6, 7, 8, 9, 10	15	35
Suelta	9	1	2
Laminar	8	1	2
Prismática	10	1	2

3.1.5 Consistencia

Los suelos presentaron consistencias friables (39%) la más representativa, seguida por la suelta (29%). (Cuadro 11).

Cuadro 10. Consistencia en húmedo de los perfiles y barrenaciones descritos en la microcuenca El Carrizal, PNLT, Francisco Morazán, Honduras.

Consistencia en húmedo	Cantidad horizontes		Total	%
	Barrenaciones	Calicatas		
Suelto	31	9	40	29
Friable	30	23	53	39
Muy friable	8	8	16	12
Firme	24	3	27	20

En mojado fue la consistencia pegajosa (51%), la que se encontró con mayor frecuencia. La cual está presente en una cantidad de 22 de 43 horizontes descritos (Cuadro 12). La consistencia friable se debe a que los suelos presentan cantidades frecuentes de poros y son bien desarrollados caracterizados por la estructura tipo migajoso. A su vez debido a que son suelos en los que predominan las texturas finas y medias (Cuadro 9), debido a la cantidad de arcillas presentes tienen mayor capacidad cohesiva, lo que hace que sean más plásticos y de mayor retención de humedad. Los suelos que presentan estas características tienden a ser más susceptibles ante la saturación de sus espacios porosos y en algunos casos pierden su cohesividad causando deslizamientos de suelo en sitios de pendientes pronunciadas.

Cuadro 11. Consistencia en mojado de los perfiles y barrenaciones descritos en la microcuenca El Carrizal, PNLT, Francisco Morazán, Honduras.

Consistencia en mojado	Número de Calicata	Cantidades de horizontes	%
No pegajoso	9	1	2
Ligeramente pegajoso	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9,10	14	33
Pegajoso	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9	22	51
Muy pegajoso	4, 8, 9, 10	6	14

4.2 PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO

Los suelos presentan valores de pH entre 4.04 y 5.98, lo que refleja que son suelos de pH ácidos a moderadamente ácidos. Los suelos presentan un alto contenido de materia orgánica con porcentajes entre 4.79 a 16.95. El alto contenido de materia orgánica se debe a que los suelos son de vocación forestal y en la actualidad la vegetación predominante es de coníferas y especies arbustivas a nivel del sotobosque, lo que permite bastante acumulación de materia orgánica. Sin embargo, a pesar de poseer 16% de materia orgánica estos horizontes no pueden ser clasificados como orgánico (Cuadro 13).

El suelo presenta concentraciones medias de nitrógeno, lo cual es aceptable para la fertilidad de las plantas, esto debido a que es una zona de vocación forestal, que se caracteriza por tener alto contenido de materia orgánica, texturas medias y buena permeabilidad. Sin embargo, la calicata número siete y nueve, presentaron alto contenido de nitrógeno (0.77 y 0.85 mg/Kg respectivamente), esto se debe a que las muestras fueron tomadas en parcelas agrícolas ubicadas en la parte alta de la microcuenca (Cuadro 13).

El contenido de potasio y calcio en el suelo fue variable, pesar de que la mayoría de los suelos presentan texturas franco arcillosas. Esto se puede deber al grado de acidez que presentan los suelos, la baja capacidad de intercambio catiónico y los niveles de precipitación presente en el sitio (Cuadro 13).

La concentración de magnesio en el suelo presenta niveles medios y bajos, debido a la acidez del suelo y la cantidad de potasio presente. En las calicatas donde se observan niveles altos de potasio se tienen niveles medios de magnesio (Cuadro 13). El sodio presenta valores normales entre 113 a 145 mg/Kg, a pesar de ser una zona de alta pluviosidad.

Cuadro 12. Análisis de resultados de la prueba química del primer horizonte de los perfiles descritos en la microcuenca El Carrizal, PNLT, Francisco Morazán, Honduras.

Perfil	pH	%		mg/kg (extractable)				
		M.O.	N Total	P	K	Ca	Mg	Na
1	5.34	9.83	0.49	4	108	1020	140	123
2	4.98	7.32	0.37	3	82	450	60	125
3	5.57	6.56	0.33	4	144	1280	240	125
4	4.9	5.33	0.27	1	54	390	50	125
5	5.53	8.87	0.44	4	116	660	90	113
6	5.79	4.79	0.24	1	110	1090	110	128
7	4.04	15.35	0.77	9	118	890	130	140
8	5.2	5.79	0.29	3	174	450	60	125
9	4.38	16.95	0.85	5	184	540	150	145
10	5.28	8.05	0.4	29	288	1100	100	125

4.3 CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS Ó SUELOS TÍPICOS

Los suelos encontrados en la microcuenca El Carrizal, pueden ser clasificados por tener características de suelos con regímenes de temperatura térmico debido a que cuenta con una temperatura media anual de 18 grados centígrados; y regímenes de humedad ústico, debido al marcado cambio de precipitación entre la época verano y de invierno.

Se encontró la presencia de alfisoles, que son suelos poco alterados pero que son suelos lavados, producto del flujo del agua a través de ellos, además se observó la presencia de arcillas translocadas hacia horizontes inferiores y son suelos relativamente jóvenes, como ser Inceptic Haplustalf. También se observan entisoles e inceptisoles, que son suelos poco evolucionados, por lo general son producto de la procesos aluviales, por lo cual tiende a tener poca profundidad efectiva y se vean limitados por capas de rocas, un ejemplo de ellos son los suelos Lithic Troporthent (Cuadro 14). *Lithic* que expresa la presencia de una capa rocosa, *Troporth*, indican que están ubicados en la región tropical y subtropical del planeta y *ent*, que son suelos de formación aluvial e intemperismo del material parental También se caracterizan por ser suelos con presencia de texturas finas (Figura 6).

Cuadro 13. Clasificación taxonómica de los suelos de la microcuenca El Carrizal, PNLT, Francisco Morazán, Honduras.

Pendiente (%)	Calicata	Sub-grupo	Familia textural
0 – 3	6	Typic Haplustept	Fino
7 – 12	4	Thaptic Haplustept	Fino
		Inceptic Haplustalf	
12 – 25	10	Typic Troporthent	Fino
	1	Lithic Troporthent	
	2	Typic Rhodustalf	
	7	Thaptic Haplustept Inceptic Haplustalf	
25 – 50	3	Typic Dystrustepts	Fino
	8	Typic Haplustalf	
	9	Typic Dystrustepts	
50 – 75	5	Typic Haplustalf	Fino

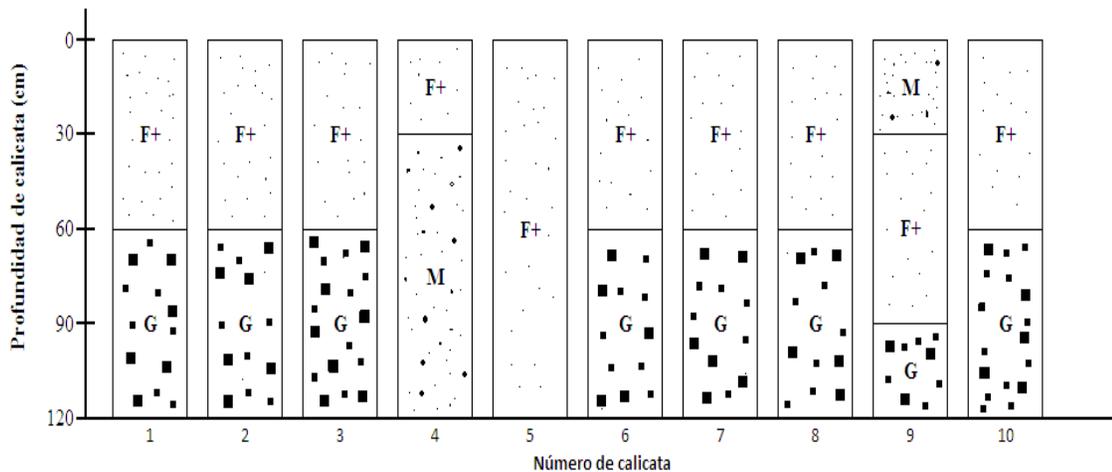


Figura 7. Profundidad y Familias texturales de los perfiles de la microcuenca El Carrizal, Parque Nacional La Tigra, Francisco Morazán, Honduras.

4.2 DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE CAPTURA DE AGUA

4.2.1 Conductividad Hidráulica

Como resultado de la medición de la conductividad hidráulica en los horizontes, se encontró que los suelos permiten el paso del agua a una velocidad moderadamente rápida (Cuadro 15), debido a que en los primeros horizontes se observan familias texturales medias que permiten un mayor movimiento de agua y a medida que aumenta la profundidad efectiva de los suelos comienzan a aparecer familias texturales finas y muy finas por lo que es hasta ese punto disminuye la velocidad del movimiento interno del agua.

Otro factor que influye en el movimiento del agua a través del suelo es la estructura. En el caso de los suelos de la microcuenca El Carrizal, la estructura tipo migajosa permite que este movimiento sea relativamente rápido, debido a los espacios porosos que presenta. Los cuales a pesar de no ser largos o conectados, son frecuentes y permiten un movimiento relativamente constante.

De igual forma, se observó que el agua almacenable por los suelos es proporcional a la profundidad efectiva, y que los suelos con profundidades efectivas entre 30 y 60centímetros tienen mayor capacidad de almacenamiento, debido a que poseen menor densidad aparente (Cuadro 15). Una vez conociendo cual es el agua almacenable por perfil del suelo y conociendo su distribución se calcula que los suelos de la microcuenca pueden llegar a almacenar hasta 20, 820 m³ de agua al año.

Cuadro 14. Conductividad y agua almacenable según la profundidad efectiva y familia textural.

Profundidad efectiva (cm)	Símbolo	Kh		Clasificación	Agua almacenable	Agua almacenable
		cm/h	m/día		mm	m ³ /ha
Muy superficial < 30	(M/G)/(G)	5.9	1.4	Moderadamente rápido	1.04	10.4
	(F+/G)/G	4.6	1.1	Moderado	1.47	14.7
Superficial 30 – 60	M/G	1.6	0.1	Lento	1.99	19.9
	(M/F+)/G	4.4	1.1	Moderado	1.72	17.2
	F+/G	7	1.7	Moderadamente rápido	2.68	26.8
Mod. Profundo 60 – 90	M/(M/G)	5.9	1.4	Moderadamente rápido	5.52	55.2
	(M/F+)/(F+/G)	3.3	0.8	Moderado	8.91	89.1
	(M-F+/F+)/G	3.8	0.9	Moderado	3.27	32.7
	F+/(F+/G)	5.2	1.3	Moderado	5.58	55.8
Profundo < 120	(M-F+/F+)/M	2.1	0.5	Lento	7.51	75.1
	(M-F+/F+)/F+	7.8	1.9	Rápido	5.81	58.1

4.3 BALANCE HÍDRICO DEL SUELO

4.3.1 Precipitación en exceso

La precipitación registrada refleja que la microcuenca se encuentra bajo un régimen de precipitación ústico, el cual se refleja en que existen seis meses de precipitación que abarca los meses de Mayo hasta Octubre y posteriormente seis meses de sequía entre los meses de Noviembre hasta Abril. Se registró una precipitación media total anual de 1128 mm (2008 y 2009) y una evaporación potencial media total anual de 854 mm. Como resultado un balance hídrico positivo del suelo de 274 mm/año (Cuadro16). Este valor es menor que el valor real de escorrentía encontrado por Caballero (2010) (Artículo en revisión) de 610 mm/año.

Cuadro 15. Precipitación, evaporación y balance hídrico mensual 2008 - 2009

Mes	Precipitación (mm/mes)	Evaporación Potencial (mm/mes)	Precipitación en exceso (P – E)
Enero	42	78	-35
Febrero	39	70	-31
Marzo	5	93	-88
Abril	ND	90	-90
Mayo	90	68	22
Junio	222	66	156
Julio	108	68	40
Agosto	171	75	96
Septiembre	176	56	120
Octubre	185	54	131
Noviembre	48	62	-14
Diciembre	41	75	-34
Total (mm/año)	1128	854	274

ND = sin datos

La precipitación en exceso que se generó en la microcuenca es de 540 mm/año y se da entre los meses de Mayo a Octubre (Cuadro 16). Sin embargo, durante en el mes de Mayo el agua exceso de agua que se genera producto de las lluvias, tiende a infiltrarse rápidamente debido a las condiciones de humedad en que se encuentran los suelos.

Por otra parte, la recarga hídrica de los suelos sucede únicamente entre los meses Junio a Octubre, debido a que los suelos ya se han saturado de agua producto de las constantes lluvias, disminuyendo así la capacidad de infiltración de los mismos (Anexo 2).

4.3.2 Escorrentía

La escorrentía anual generada en la microcuenca equivale a la sumatoria de la recarga hídrica mensual anual, que dio como resultado 284 mm/año, con un coeficiente de escorrentía de 0.25 (Cuadro 17), lo que indica que de los 1, 128 mm de lluvia anual que caen en la microcuenca, únicamente el 25% de la precipitación genera escorrentía. Lo cual es un valor relativamente bajo en comparación a lo propuesto por Prevert, citado por TRAGSA y TRAGSATEC (1994), en el cual establecen que un coeficiente de escorrentía superficial de 0.60 para suelos bajo cobertura boscosa, con suelos de texturas finas y pendientes con un rango de pendiente entre 25 y 75 por ciento.

El cual se debe a que la microcuenca se encuentra en buen estado, producto de la densa cobertura de coníferas y arbustos; y la generación de hojarasca que recubre la superficie del suelo y que disminuye el impacto erosivo de las gotas de lluvia. Además, permiten una mayor absorción de agua en el suelo, mejorando la infiltración y el flujo interno hasta alcanzar el estado de saturación de los mismos.

Cuadro 16. Precipitación en exceso diario y mensual con base a familias texturales.

	Precipitación en exceso mm/mes											
	Meses											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	-36.24	-31.64	-88.94	-91.04	20.61	155.26	39.01	94.51	119.41	129.91	-15.39	-34.59
	-36.67	-32.07	-89.37	-91.47	20.18	154.83	38.58	94.08	118.98	129.48	-15.82	-35.02
	-37.19	-32.59	-89.89	-91.99	19.66	154.31	38.06	93.56	118.46	128.96	-16.34	-35.54
	-36.92	-32.32	-89.62	-91.72	19.93	154.58	38.33	93.83	118.73	129.23	-16.07	-35.27
	-37.88	-33.28	-90.58	-92.68	18.97	153.62	37.37	92.87	117.77	128.27	-17.03	-36.23
	-40.72	-36.12	-93.42	-95.52	16.13	150.78	34.53	90.03	114.93	125.43	-19.87	-39.07
	-44.11	-39.51	-96.81	-98.91	12.74	147.39	31.14	86.64	111.54	122.04	-23.26	-42.46
	-38.47	-33.87	-91.17	-93.27	18.39	153.04	36.79	92.29	117.19	127.69	-17.62	-36.82
	-40.78	-36.18	-93.48	-95.58	16.07	150.72	34.47	89.97	114.87	125.37	-19.93	-39.13
	-42.71	-38.11	-95.41	-97.51	14.15	148.80	32.55	88.05	112.95	123.45	-21.86	-41.06
	-41.01	-36.41	-93.71	-95.81	15.84	150.49	34.24	89.74	114.64	125.14	-20.16	-39.36
Qem(mm/mes)	-39.34	-34.74	-92.04	-94.14	17.51	152.16	35.91	91.41	116.31	126.81	-18.49	-37.69
Qed (m/día)						50.72	11.59	29.49	38.77	40.91		

4.3.3 Recarga del acuífero

Conociendo el exceso de agua y la cantidad de escorrentía generado en la microcuenca, se calculó la recarga hídrica del acuífero, el cual dio como resultado, que tiene una recarga de 256 mm/año, lo cual es equivalente a que la microcuenca El Carrizal tiene la capacidad de recargar el acuífero con 2, 748, 407 m³ de agua al año (Cuadro 18).

Cuadro 17. Recarga anual del acuífero de la microcuenca El Carrizal, PNLT, Francisco Morazán, Honduras.

Recarga del acuífero		
	mm/año	m ³ /año cuenca
Precipitación	1, 128	12, 109, 052
Exceso de agua	5, 540	5, 796, 630
Escorrentía	284	3, 048, 598
Recarga del acuífero	256	2, 748, 407
Coefficiente de escorrentía	0.25	

La microcuenca El Carrizal tiene la capacidad de suplir la demanda de agua de 75,299 personas, asumiendo un consumo a nivel rural. Posee una capacidad de abastecer 30, 119 personas a nivel urbano. Sin embargo, se puede estimar que una persona necesita 70 hectáreas para poder suplir su demanda de agua durante un año y 28.06 respectivamente (Cuadro19). Esta capacidad de oferta está ligada con el estado de la cobertura vegetal y el uso potencial del suelo se está cumpliendo, los cuales al encontrarse en buen estado es capaz de recargar el acuífero la mayor parte del año, contribuyendo al suministro de agua durante la época seca.

Cuadro 18. Capacidad de oferta de agua en la microcuenca El Carrizal, PNLT, Francisco Morazán, Honduras.

Dotación (l/día)	Demanda de agua por persona (m³/año)	Oferta de agua (habitantes/año)	Hectáreas (bosque/persona)
100	36.5	75, 299	70
250	91.25	30, 119	28.06

5. CONCLUSIONES

- La capacidad de recarga hídrica total de la microcuenca El Carrizal es 2,748,407 m³/año, y tiene el potencial de abastecer 75,299 habitantes/año. Por lo tanto, una persona necesitaría 70 hectáreas de la cuenca para suplir su demanda de agua anual.
- Las propiedades físicas descritas en campo guardan una estrecha relación con los análisis de las pruebas de laboratorio realizadas, reflejado en la estructura tipo migajosa que permite la acumulación de materia orgánica en los horizontes subsuperficiales, lo cual aumenta el contenido de nitrógeno en el suelo (entre 0.27 a 0.49 mg/kg de N total).
- A pesar que los suelos tienen texturas finas (arcillas) en el subsuelo, el flujo del agua a través del mismo se ha visto modificado de forma positiva por la cobertura boscosa, mejorando su aireación y retención de humedad.

6. RECOMENDACIONES

- Realizar un estudio complementario sobre la capacidad de recarga hídrica de los suelos de la parte alta de la microcuenca El Carrizal, con el fin de tener un mejor conocimiento de la relación entre la zona de recarga hídrica y la zona de escurrimiento de la parte baja.
- Realizar un estudio durante la época seca, para determinar la tasa de infiltración que poseen los suelos de la microcuenca El Carrizal.
- Debido al alto potencial de recarga hídrica que posee la microcuenca El Carrizal (2,748,400 m³/año), es necesario tomar medidas de control y protección de las zonas boscosas y de captación de agua, ante la intromisión de personas que se dedican al corte de leña en la microcuenca.

7. LITERATURA CITADA

Alvarado, Danilo. 2010. Gerente del SANAA en entrevista realizada por Diario La Tribuna. Déficit de agua del 54.6 % por ciento enfrenta Tegucigalpa (en línea). Citado 24 mayo 2010. Disponible en <http://www.latribuna.hn/web2.0/?p=98527>.

Arévalo, G; Gauggel, C. 2008. Manual de Laboratorio de Ciencias de Suelos y Aguas. E.A.P Zamorano, Honduras. 19p.

Brooks, KN; Ffolliott, PF; Gregersen, HM; Deban, LF. 2003. Hydrology and the Management of Watersheds. Tercera edición. Iowa State., Blackwell Publishing Company. 26 p.

Caballero, L; Steenhuis, T. 2010. Rainfall runoff relationships for a cloud forest watershed in Honduras, Central America and implications for resource engineering. Cornell University. p16.

Engda, T 2009. Modeling rainfall, runoff and soil loss relationship in the northeastern highlands of Ethiopia, Andit Tid watershed. Tesis Programa Maestría. Etiopia, Cornell University. 26 p.

Empresa de Transformación Agraria, S.A (TRAGSA) y Tecnología y Servicios Agrarios S.A (TRAGSATEC). 1994. Restauración hidrológica forestal de Cuencas y control de la erosión. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España. 50 p.

FitzPatrick, E A. 1980. Suelos: Su formación, clasificación y distribución. Segunda edición. Compañía Editorial Continental. México, D.F. 130 p.

Gavande, S A. 1973. Física de suelos principios y aplicaciones. Primera edición. Editorial Limusa -Willey. México, D.F. 34p.

Goyzueta, M. 2008. Caracterización hidrológica de la microcuenca de la quebrada El Carrizal, Parque Nacional La Tigra, Francisco Morazán, Honduras. Tesis Ingeniero en Desarrollo Socioeconómico y Ambiente. Zamorano, Honduras, Escuela Agrícola Panamericana Zamorano. 26 p.

Heathcoat, I W. 1998. Integrated Watershed Management: Principles and Practice. John Wiley & Sons. 17 p.

Hillel, D. 2004. Introduction to Environmental Soil Physics. Elsevier Academy Press. California, EE.UU. 3,41p.

Jury, WA; Gardner, WR. 1991. Soil physics. Quinta edición. John Wiley & Sons. EE.UU. 6 p.

Landon, JR. 1991. Booker Tropical Soil Manual: A handbook for soil survey and agricultural land evaluation in the tropic and subtropic. New York. Booker STAT. p77.

Maidment, DR. 1992. Handbook of Hydrology. New York McGraw-Hill 5.10 p

Farías, E. 1994. Física de suelos con enfoque agrícola. Primera edición. Editorial Trillas. México, D.F. 36p

Ovalles, F. 2006. Introducción a la agricultura (en línea). Citado 6 junio 2010. Disponible en: http://www.cadenahortofruticola.org/admin/geren/54introduccion_agricultura_precision.pdf.

Porta, J; López-Acevedo, M; Poch, RM. 2008. Introducción a la Edafología: uso y protección del suelo. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España. 36, 141 p.

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) 2000. La diversidad biológica en Mesoamérica (en línea). Citado 10 agosto 2010. Disponible en <http://www.pnuma.org/recnat/esp/cbmpres.php>

Servicio Autónomo Nacional de Acueductos y Alcantarillados (SANAA). 2006. Cambio de la cultura del agua: Historieta de Información Técnica. Disponible en <http://www.sanaa.hn/familia/familia/Historia%20No%206.pdf>

Soil Survey Staff, Natural Resources Conservation Service & United States Department of Agriculture. 2006. Keys to Soil Taxonomy. Décima Edición. EE.UU 256 p.

Unidad de Apoyo Técnico, (UNAT). 2010. República de Honduras: Problema de la sequía en Honduras en 2010. Disponible en http://www.pesacentroamerica.org/pesa_ca/sequia_honduras.pdf

8. ANEXOS

Anexo 1. Valores de punto de marchitez permanente y capacidad de campo según la textura.

Textura	PMP*		CC**	
	%	cm	%	cm
Arena media	1.7	0.7	6.8	3.0
Arena fina	2.3	1.0	8.5	3.7
Franco arenoso	3.4	1.5	11.3	5.0
Franco arenoso fino	4.5	2.0	14.7	6.5
Franco	6.8	3.0	18.1	8.0
Franco limoso	7.9	3.5	19.8	8.7
Franco arcilloso	10.2	4.5	21.5	9.5
Arcilloso	14.7	6.5	22.6	10.0

* PMP= Punto de marchitez permanente

** CC= Capacidad de campo

Anexo 2. Meses de recarga hídrica de los suelos de la microcuenca El Carrizal, PNLT, Francisco Morazán, Honduras.

Kh (m/día)	Recarga Hídrica del suelo (m/día)											
	Mes											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1.4						49	10	28	37	40		
1.1						50	10	28	38	40		
0.4						50	11	29	38	41		
1.1						50	11	28	38	40		
1.7						49	10	28	37	39		
1.4						49	10	28	37	40		
0.8						50	11	29	38	40		
0.9						50	11	29	38	40		
1.3						49	10	28	38	40		
0.5						50	11	29	38	40		
RH m (mm/mes)						99	21	28	75	60		

Anexo 3. Descripción de perfiles de las diferentes muestras de suelo evaluadas.

# Perf.	Hor	Profund cm	Color	Text	Estructura			Consistencia		R . P kg/cm ²	Poros			Raíces		Piedra/roca		Límite		Familia Textural
					Tipo	Grado	Clase	Húmedo	Mojado		Tam	F	Cant	Tam	Cant	Tam	Cant	Top	Nitidez	
1	A	0-15	5YR 3/2	FArA	m	d	F	s	lpg	2.4	m	t	m	tg	m	p	m	i	g	F+/G
	C1	15-30	5YR 3/4	ArA	m	d	M	f	pg	2.87	m	t	m	g	f	t	m	i	g	
	C2	30-57	2.5YR 4/4	FArA	m	d	F	f	pg	3.6	g m	t	p	m g	m	t	m	i	g	
	R	>57																		
2	A1	0-25	5YR 3/2	ArA	g	d	M	s	lpg	2.85	t	v tc	m	tg	m	p m	f	i	g	F+/G
	A2	25-36	5YR 3/3	ArA	mi	d	M	s	pg	2.51	t	v	m	m f	p	p m	f	i	g	
	E	36-100	2.5YR 4/4	FArA	mi	d	M	s	pg	2.4	t	v tc	f	tg	f	g	f	i	g	
	Bt	>100	2.5YR 3/4	ArA	mi	m	M	f	pg	3.2	f	v	p	g	f	t	m	i	d	
3	A1	0-16	5YR 3/3	ArA	mi	d	M	s	lpg	1.93	t	tc	f	f	f	p	m	i	g	F+/G
	Bw1	16-34	2.5YR 4/4	ArA	mi	d	M	f	pg	1.99	f	tc v	m	tg	m	t	f	i	g	
	Bw2	34-66	2.5YR 4/6	ArA	mi	d	f m	s	pg	2.24	f	v	p	m	p	m	m	i	d	
	Bw3	66- 71	2.5YR 4/8	ArA	mi	d	g f	f	pg	2.09	f	tc	p	tg	p	t	m	i	d	
	R	>71																		

Abreviaturas: Hor= Horizonte; Prof= Profundidad; Tex= Textura; F.G.= Fragmentos Gruesos; R.P.= Resistencia a la penetración; **Textura:** **F:** franco, **FA:** franco arenosa, **FL:** franco limosa **FAR:**franco arcillosa, **FArL:** franco arcillo limosa, **FArA:** franco arcillo arenosa, **Ar:** arcillosa, **ArA:** Arcillo arenosa, **ArL:** arcillo limosa, **A:** arenosa, **AF:** arena franca. **Estructura:** g: granular, ba: bloques angulares, bsa: bloques subangulares, p: prismas, m: compacto. d: débil, f: fuerte, m: moderado. tt: todos tamaños, m: medianos, g: gruesos, mg: muy gruesos, f: finos, mf: muy finos. **Fragmentos gruesos:** mf: muy fino; f: fino; g: grueso; mg: muy grueso; tt: todos los tamaños. **Conductividad:** fr: friable, mfr: muy friable, f: firme, mf: muy firme. **Poros:** f: finos, mf: muy finos, g: gruesos, m: medianos, tt: todos tamaños. v: vesicular, t: tubular, r: reticular. p: pocas, m: muchos, f: frecuentes, a: ausentes. **Raíces:** f: finas, mf: muy finas, g: gruesas, tg: todos grosores. m: muchas, p: pocas, f:frecuentes, a: ausentes. **Límite:** p: plano, o: ondulado, q: quebrado. c: claro, d: difuso, g: gradual, a: abrupto.

Continuación Anexo 3.

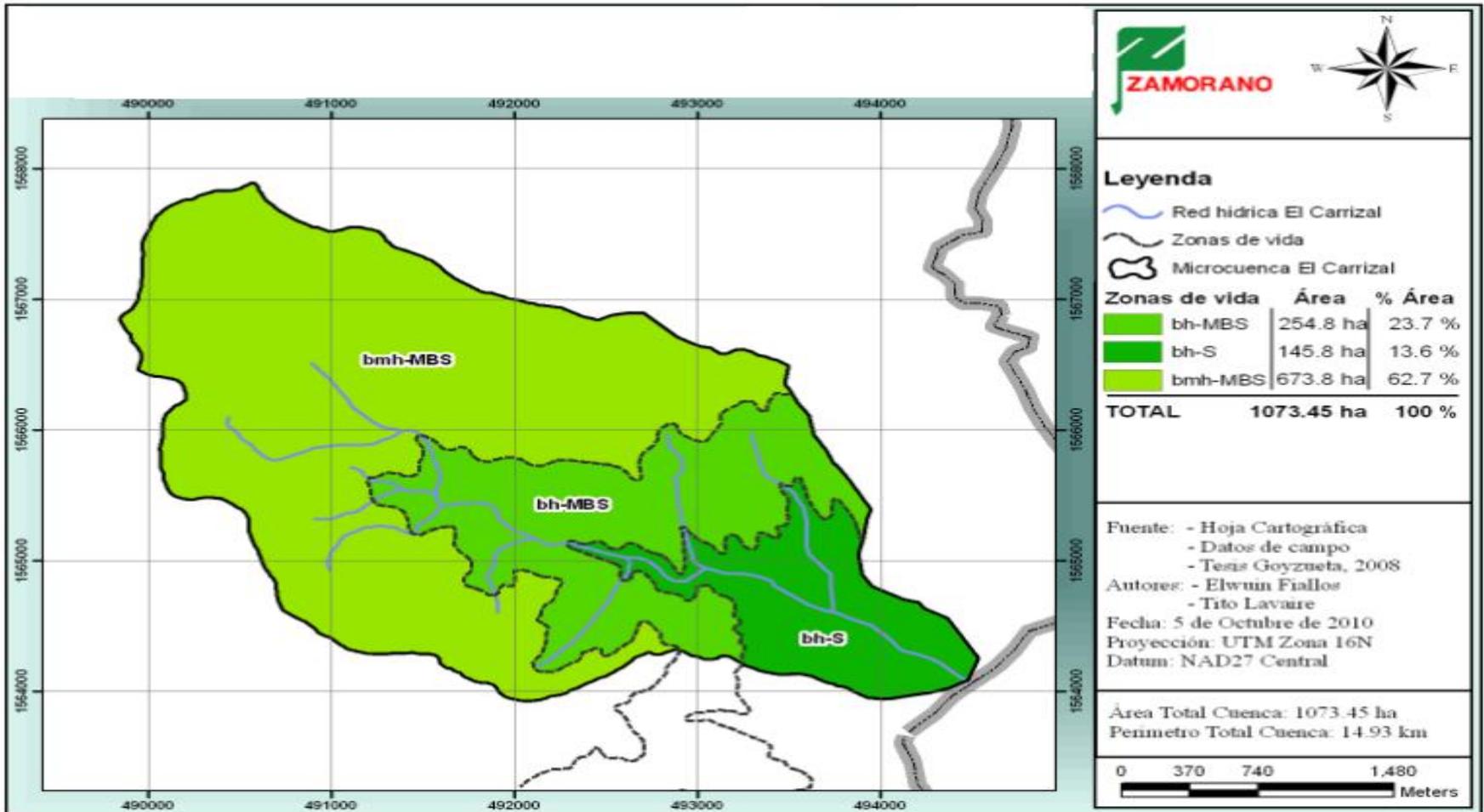
# Perfil	Hor	Prof cm	Color	Text	Estructura			Consistencia		R . P kg/cm ²	Poros			Raíces		Piedra/roca		Límite		Familia Textural
					Tip o	Grad o	Clas e	Húmed o	Mojad o		Ta m	F	Cant	Ta m	Can t	Ta m	Can t	To p	Nitidez	
4	A1	0-30	7.5YR 4/3	ArA	mi	d	m	s	lpg	2.74	Ausentes					t	m	i	g	(F+/M)/ M
	Bt	30-70	7.5YR 4/6	Ar	mi	d	m	mf	pg	2.94	f	t	p	tg	m	t	m	i	g	
	Oab	70-90	5YR 3/2	ArA	mi	d	m	s	lpg	3.45	f	t	f	f m	f	P m	m	i	g	
	Cb1	90-160	7.5YR 4/6	Ar	bsa	m	m g	f	pg	3.4	g m	t	m	f m	f	t	m	i	d	
	Cb2	160-180	7.5YR 4/4	ArA	mi	d	m mf	s	pg	3.1	Ausentes/intrapedales			m f	f	t	m	i	d	
	Cb3	>180	5YR 4/6	ArA	bsa	m	g m	mf	mpg	2.55	f	t	p	f m	m	t	m	i	d	
5	A1	0-5	5YR 3/2	FAr A	mi	d	m	s	lpg	2.39	Ausentes			f	m	P m	m	i	g	F+
	A2	5-22	5YR 4/6	FAr A	bsa	m	m	s	pg	2.9	m	t v	p	f m	m	t	m	i	g	
	Bt	22-59	5YR 4/2	FAr A	m	m	m	f	lpg	2.78	Ausentes			f	f	t	m	i	g	
	Bt2	59-86	5YR 4/4	ArA	bsa	m	m	f	p	3.3	f	tc	p	f m	f	p	m	i	g	
	C1	86-102	5YR 5/4	FAr A	bsa	d	f	f	pg	2.68	f	tc	p	g m	p	p	m	i	g	
	C2	>102	7.5YR 5/6	A	mi	m	f m	f	lpg	2.78	f	tc	p	m	p	p	m	i	g	
6	A	0-18	7.5YR 3/3	ArA	mi	m	f	fi	lpg	3.45	f	t	p	tg	m	P m	m	i	g	F+/G
	Bw 1	18-66	2.5YR 4/6	ArA	bsa	d	m	f	pg	3.4	m g	t	f	f mf	f	p	f	i	g	
	Bw 2	66-85	7.5YR 5/8	ArA	mi	m	m	f	lpg	3.6	f	t	m	f	p	t	m	i	d	
	C	85-95	7.5YR 7/6	ArA	bsa	m	m g	f	pg	3.5	Ausencia			f	p	t	m	i	g	
	R	>95																		

Continuación Anexo 3.

# Perfil	Hor	Prof cm	Color	Text	Estructura			Consistencia		R . P kg/cm ²	Poros			Raíces		Piedra/roca		Límite		Familia Textural
					Tipo	Grado	Clase	Húmedo	Mojado		Tam	F	Cant	Tam	Cant	Tam	Cant	Top	Nitidez	
7	A1	0-7	10YR 2/1	FArA	g	m	f	fi	pg	2.19	f	t	p	f	m	t	p	i	g	F+/G
	E	7-30	10YR 5/8	ArA	bsa	m	f	f	lp	2.43	tg	t	f	tg	m	p m	p	i	g	
	Bt1	30-50	5YR 4/4	ArA	mi	m	f	f	lp	2.75	f	t	p	tg	f	p	p	i	g	
	Bt2	50-65	5YR 4/6	ArA	mi	m	f	f	p	2.15	Intrapedales			tg	m	p	p	i	g	
	Ab	65- 75	5YR 2/4	ArA	mi	d	f	f	p	2.72	f	t	p	tg	f	p	p	i	g	
	R	>75																		
8	Ap	0-10	7.5YR 3/3	ArA	bsa	m	g	f	mpg	3.6	t	t	f	mf	p	P m	f	i	g	F+/G
	E	10-35	5YR 4/4	Ar	bsa	m	g m	f	pg	3.7	t	t	f	mf	p	P m	f	i	d	
	Bt	35-67	5YR 4/3	ArA	bsa	m	mg	f	mpg	3.85	t	p	f	f	p	tg	m	i	d	
	C	67 - 77	5YR 5/6	ArA	la	m	g	f	pg	3.65	f	p	f	mf	p	tg	m	i	d	
	R	>77																		
9	A	0-15	10YR 2/1	FL	s	d	f	s	npg	2.5	tg	t	m	tg	m	p	m	i	g	(MF+/F+)/ (F+)
	Bw	15-47	5YR 4/3	ArL	bsa	m	m g	f	pg	3.25	f	t	f	tg	m	t	m	i	g	
	C1	47-86	5YR 4/4	Ar	ba	m	g	f	lpg	2.83	mf	t	f	m g	f	t	m	i	g	
	C2	86- 96	2.5YR 4/4	Ar	bsa	f	mg	mf	mpg	2.05	tg	t v	m	f m	p	t	m	i	g	
	R	>96																		
10	Ap	0-18	7.5YR 2.5/2	FArA	bsa	m	m	mf	lpg	4.35	tg	t v	f	tg	f	P m	f	i	a	F+/G
	C1	18-50	5YR 4/3	Ar	p	m	g	mf	mpg	3.99	m	t	p	f	p	p	p	i	a	
	C2	50-70	2.5YR 4/4	Ar	bsa	f	g	mf	mpg	4.35	tg	v	m	mf	p	p	p	i	d	
	R	>70																		

Anexo 4. Ubicación geográfica de barrenaciones y perfiles descritos en la microcuenca El Carrizal, PNLT, Francisco Morazán, Honduras.

ID	X	Y	Altura	Descripción	ID	X	Y	Altura	Descripción
1	492409	1565050	1559	Barrenaciones	19	493268	1564101	1516	Barrenaciones
2	492175	1565472	1660	Barrenaciones	20	493119	1564186	1592	Barrenaciones
3	492187	1565654	1734	Barrenaciones	21	491815	1565240	1660	Barrenaciones
4	491902	1565269	1582	Barrenaciones	22	491996	1564979	1633	Barrenaciones
5	491690	1565337	1632	Barrenaciones	23	492285	1564906	1625	Barrenaciones
6	492264	1565084	1532	Barrenaciones	24	493386	1566017	1712	Barrenaciones
7	493887	1564235	1412	Barrenaciones	25	493245	1566314	1798	Barrenaciones
8	493998	1564187	1415	Barrenaciones	26	492216	1565560	1674	calicata 1
9	494725	1563932	1323	Barrenaciones	27	492196	1565779	1687	calicata 2
10	491332	1564689	1892	Barrenaciones	28	492410	1565255	1516	calicata 3
11	491334	1564688	1898	Barrenaciones	29	491294	1565585	1642	calicata 4
12	491799	1563856	1892	Barrenaciones	30	491619	1565463	1665	calicata 5
13	493419	1565884	1649	Barrenaciones	31	494316	1564181		calicata 6
14	493416	1565863	1653	Barrenaciones	32	491379	1565165	1886	calicata 7
15	493752	1564640	1433	Barrenaciones	33	491420	1564821	1877	calicata 8
16	491909	1564161	1876	Barrenaciones	34	491827	1564526	1896	calicata 9
17	491487	1564905	1901	Barrenaciones	35	491715	1563928	1866	calicata 10
18	491703	1564936	1774	Barrenaciones					



Anexo 5. Mapa de clasificación de zonas de vida de la microcuenca El Carrizal, Parque Nacional La Tigra, Francisco Morazán, Honduras.