



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CIENCIAS FORESTALES**

**UNACIFOR**

**Escuela de Ciencias Forestales**

**IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS PARA LA UBICACIÓN DE REPRESAS PARA CAPTURA DE AGUA DE ESCORRENTÍA, UTILIZANDO UN MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN (MDE) INCLUYENDO VARIABLES EDÁFICAS E HIDROLÓGICAS; EN EL MUNICIPIO DE SIGUATEPEQUE, COMAYAGUA, HONDURAS.**

***Tesis sometida a consideración de la Escuela de Ciencias Forestales, para optar al título de:***

Ingeniera en Ciencias Forestales

Por:

Tammy Celeste Lezama Pineda

Siguatepeque, Comayagua, Honduras, C.A.

Noviembre, 2017



**Universidad Nacional de Ciencias Forestales**

**UNACIFOR**

**Escuela de Ciencias Forestales**

**IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS PARA LA UBICACIÓN DE REPRESAS PARA  
CAPTURA DE AGUA DE ESCORRENTÍA, UTILIZANDO UN MODELO  
DIGITAL DE ELEVACIÓN (MDE) INCLUYENDO VARIABLES EDÁFICAS E  
HIDROLÓGICAS; EN EL MUNICIPIO DE SIGUATEPEQUE, COMAYAGUA,  
HONDURAS.**

Tesis de Grado

Por: Tammy Celeste Lezama Pineda

Como requisito previo para optar al título de Ingeniera en Ciencias Forestales

Aprobado por:

---

Ing. Allan Bendeck  
Asesor Principal

---

MSc. Miguel Velásquez  
Asesor Secundario

---

MAE. José Francisco López  
Director de la Escuela de Ciencias Forestales

Siguatepeque, Comayagua, Honduras C.A

Noviembre, 2017

Universidad Nacional de Ciencias Forestales  
UNACIFOR  
Escuela de Ciencias Forestales

**IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS PARA LA UBICACIÓN DE REPRESAS PARA  
CAPTURA DE AGUA DE ESCORRENTÍA, UTILIZANDO UN MODELO  
DIGITAL DE ELEVACIÓN (MDE) INCLUYENDO VARIABLES EDÁFICAS E  
HIDROLÓGICAS; EN EL MUNICIPIO DE SIGUATEPEQUE, COMAYAGUA,  
HONDURAS.**

Tesis de Grado

Por: Tammy Celeste Lezama Pineda

Miembros integrantes de la Terna Evaluadora:

---

Ing. Allan Bendeck

Asesor Principal

---

MSc. Menelio Bardales

Representante de la Comisión de Investigación

---

Ing. Jorge Gómez

Representante del Departamento de Docencia

Siguatepeque, Comayagua, Honduras, C.A

Noviembre, 2017

## **AUTORIZACIÓN**

El autor **Tammy Celeste Lezama Pineda** cede a UNACIFOR los derechos patrimoniales sobre esta obra en la medida necesaria para sus actividades habituales en la época de creación, incluyendo su potencial publicación del artículo técnico en la Revista El Tatascán, lo que implica, igualmente, la autorización para su divulgación con fines académicos. Es entendido que la publicación o copiado de esta tesis para ganancia económica no es permitido sin mi permiso por escrito.

---

**Tammy Celeste Lezama Pineda**

Siguatepeque, Honduras

Noviembre, 2017

## RESUMEN

El acceso a los recursos hídricos de buena calidad y cantidad suficiente, constituye uno de los mayores beneficios a los que toda sociedad aspira en pro de su propia existencia, estabilidad y desarrollo.

La escasez del agua aumenta cada día más en la ciudad de Siguatepeque, generando con esto una alarmante preocupación actual y futura en cuanto a la disponibilidad del recurso hídrico. Es fundamental y necesario la realización de acciones que estén dirigidas a identificar soluciones ante la problemática existente y futura.

La identificación de áreas para la ubicación de represas para captura de agua de escorrentía, utilizando como base un Modelo Digital de Elevación (MDE) en combinación con variables edáficas e hidrológicas, permite garantizar la disponibilidad del recurso hídrico para el consumo humano y producción agropecuaria; denotando la importancia de conocer en detalle los factores o parámetros de las áreas identificadas, ya que, por medio de la realización de análisis profundos, cálculos y comparaciones, se pueden elegir las opciones con la más alta viabilidad de implementación.

En esta investigación se seleccionaron tres áreas que presentan las mejores características, en cuanto a ubicación geográfica, proximidad a plantas de tratamiento existentes, altitud adecuada con respecto al casco urbano del municipio y cantidad de volumen a retener.

## **ABSTRACT**

Access to water resources of good quality and sufficient quantity is one of the greatest benefits to which every society aspires to its own existence, stability and development.

The scarcity of water is increasing every day in the city of Siguatepeque, generating with this an alarming current and future concern regarding the availability of the water resource. It is fundamental and necessary to carry out actions that are aimed at identifying solutions to existing and future problems.

The identification of areas for the location of dams to capture runoff water, based on a Digital Elevation Model (MDE) in combination with edaphic and hydrological variables, ensures the availability of the water resource for human consumption and farming production; denoting the importance of knowing in detail the factors or parameters of the identified areas, since, through deep analysis, calculations and comparisons, the options can be chosen with the highest feasibility of implementation.

In this research three areas were selected that present the best characteristics, in terms of geographical location, proximity to existing treatment plants, adequate altitude with respect to the urban area of the municipality and amount of volume to be retained.

## DEDICATORIA

**A Nuestro Padre Celestial**, por permitirme llegar a este punto de mi vida, por brindarme la salud, fortaleza, sabiduría y entendimiento necesarios para culminar este proceso; así como su amor, comprensión y paciencia durante todas las etapas de mi vida.

**A mis padres Ricardo Nelson Lezama Pineda y Carla Patricia Pineda Leiva**, por ser un apoyo fundamental durante cada etapa de mi vida, por su importante labor de enseñanza, amor, consejos y apoyo incondicional. Por confiar en cada paso que doy y estar siempre en cada momento conmigo.

**A mis hermanas y hermano, Kelly Vanessa Lezama Pineda, Lissy Amanda Lezama Pineda y Ricardo Aarón Lezama Pineda**, por siempre estar dispuestos a ayudarme en cada situación, por darme su amor, paciencia y sonrisas, que me llenan de felicidad y motivación para seguir adelante.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Nuestro Padre Celestial por brindarme la oportunidad de iniciar y culminar un proceso de formación superior.

A mi familia por estar en cada etapa de mi vida, por su amor, sonrisas, comprensión, consejos y paciencia.

A la Universidad Nacional de Ciencias Forestales (UNACIFOR), que fue mi centro de formación académica durante cuatro años, en los cuales tuve la grandiosa oportunidad de obtener conocimientos valiosos.

A los catedráticos que durante cuatro años brindaron sus valiosos conocimientos, para mi formación académica.

A mis asesores Ing. Allan Bendeck y MSc. Miguel Velásquez por guiarme durante el proceso de desarrollo de la investigación, por sus consejos y tiempo dedicado.

A mi terna evaluadora MSc. Menelio Bardales y al Ing. Jorge Gómez, por sus observaciones y sugerencias en cuanto a la investigación.

A los Ingenieros Fernando Villalvir, Martín Kasek y José A. de San Antonio, por su valiosa colaboración y apoyo incondicional durante la investigación.

A La Unidad Municipal Desconcentrada Aguas Siguatepeque, por el apoyo económico y logístico facilitado para realizar la investigación.

Al Alcalde de Siguatepeque Abg. Juan Carlos Morales por su apoyo y consejos.

**CONTENIDO**

AUTORIZACIÓN .....	ii
RESUMEN .....	iii
ABSTRACT .....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTOS .....	vi
CAPITULO 1 .....	1
1    INTRODUCCIÓN.....	1
2    JUSTIFICACIÓN.....	2
3    OBJETIVOS .....	3
3.1    Objetivo General .....	3
3.2    Objetivos Específicos .....	3
4    REVISIÓN DE LITERATURA .....	4
4.1    Cuenca hidrográfica .....	4
4.1.1    Subcuenca .....	4
4.1.2    Microcuenca .....	4
4.2    Escorrentía superficial.....	5
4.3    Infiltración.....	5
4.4    Calidad del agua .....	5

4.5	Represa .....	6
4.6	Captación de agua de escorrentía .....	6
4.7	Relaciones de la geología .....	6
4.8	Propiedades físicas del suelo.....	7
4.8.1	Textura .....	8
4.8.2	Estructura .....	8
4.8.3	Porosidad .....	8
4.8.4	Profundidad .....	8
4.9	Uso del suelo .....	9
4.10	Sistemas de Información Geográfica .....	9
4.10.1	Clasificación Supervisada .....	10
4.11	Aplicaciones de los Sistemas de Información Geográfica .....	10
4.12	Aplicación de los Sistemas de Información Geográfica a la hidrogeología .....	11
4.13	Modelo Digital de Elevación.....	11
4.14	Parámetros Morfométricos.....	12
4.14.1	Superficie de la cuenca (A).....	12
4.14.2	Perímetro de la cuenca (P).....	12
4.14.3	Elevación media (Em) .....	13
4.14.4	Pendiente media (Pm).....	13

4.14.5	Coeficiente de compacidad Gravelius ( $K_c$ ) .....	13
4.14.6	Longitud del eje del río principal ( $L_c$ ) .....	14
4.14.7	Coeficiente de sinuosidad hidráulico ( $Sh$ ) .....	14
4.14.8	Pendiente promedio del río principal ( $Sc_p$ ) .....	14
4.14.9	Tiempo de concentración Kirpich ( $T_c$ Kirpich) .....	15
4.14.10	Índice de forma Horton ( $R_f$ ) .....	16
4.14.11	Relación de elongación .....	16
4.14.12	Curva hipsométrica .....	17
4.15	Referencia de estudios afines .....	17
4.15.1	Plan de inversión en infraestructura de agua potable para aguas de Siguatepeque .....	17
4.15.2	Gestión integral del recurso hídrico para el abastecimiento de agua potable en el municipio de Siguatepeque, departamento de Comayagua, Honduras. ....	18
5	COMENTARIOS .....	19
CAPÍTULO 2 .....		20
1	DEFINICIÓN DEL PROBLEMA .....	20
2	HIPÓTESIS .....	21
3	METODOLOGÍA .....	22
3.1	Descripción del área de estudio .....	22

3.1.1	Ubicación.....	22
3.1.2	Limites .....	22
3.1.3	Clima .....	22
3.1.4	Topografía .....	23
3.1.5	Geología general .....	23
3.1.6	Hidrografía.....	24
4	TRABAJO DE CAMPO .....	24
4.1	Propiedades físicas del suelo.....	25
4.2	Calidad del agua .....	25
4.3	Determinación de uso actual del suelo.....	27
5	PROCEDIMIENTOS DE OFICINA.....	27
5.1	Elaboración de mapas .....	28
5.2	Cálculo de dimensiones en ancho, altura, área inundable y capacidad de volumen a retener de las represas a construir.....	28
5.2.1	Cálculo del caudal .....	29
5.2.1.1	Método Racional .....	29
5.3	Determinación de parámetros morfométricos, uso actual del suelo y conflictos de uso del suelo en las áreas seleccionadas.....	33
5.4	Análisis Estadísticos .....	34
6	COMENTARIOS.....	35

CAPÍTULO 3 .....	36
1 RESULTADOS .....	36
1.1 Identificación de áreas para la ubicación de represas para captura de agua de escorrentía, utilizando como base un Modelo Digital de Elevación (MDE).....	36
1.2 Cálculo de dimensiones en ancho, altura, área inundable y capacidad de volumen a retener de las represas a construir.....	37
1.3 Elección de tres áreas para la ubicación de represas para captura de agua de escorrentía en el municipio de Siguatepeque .....	37
1.4 Determinación de parámetros morfométricos de las posibles microcuencas .....	39
1.5 Determinación de uso actual del suelo y conflictos de uso del suelo en las tres áreas seleccionadas para el establecimiento de represas .....	45
1.5.1 Precisión del mapa de uso actual del suelo .....	51
1.6 Análisis de propiedades físicas del suelo de las tres áreas seleccionadas para el establecimiento de represas .....	52
1.7 Análisis de calidad del agua en las tres áreas para el establecimiento de represas .....	53
1.8 Análisis estadístico de datos meteorológicos .....	54
1.8.1 Cálculo del caudal por el método racional .....	58
1.9 Otros mapas de importancia en el estudio .....	61

2	COMENTARIOS.....	62
CAPÍTULO 4.....		63
1	CONCLUSIONES.....	63
2	RECOMENDACIONES.....	65
3	BIBLIOGRAFÍA.....	67
4	ANEXOS .....	73

### **LISTA DE ECUACIONES**

Ecuación 1. Cálculo de coeficiente de compacidad Gravelius ( $K_c$ ).....	13
Ecuación 2. Cálculo del Tiempo de concentración Kirpich ( $T_c$ Kirpich) .....	15
Ecuación 3. Índice de forma (Horton) ( $R_f$ ) .....	16
Ecuación 4. Descarga máxima de diseño.....	30
Ecuación 5. Ecuación pluviométrica para tiempos de 5 minutos a 1 hora.....	32
Ecuación 6. Ecuación pluviométrica para tiempos de 1 hora a 24 horas .....	32
Ecuación 7. Intensidad de precipitación máxima horaria (mm/h), correspondiente a un Tiempo de retorno ( $T_r$ ) cualquiera .....	32

### **LISTA DE FIGURAS**

Figura 1. Perfil del Cauce Principal de la Microcuenca Quebrada El Rincón .....	41
Figura 2. Curva Hipsométrica de la Microcuenca Quebrada El Rincón .....	41
Figura 3. Perfil del Cauce Principal de la Microcuenca Quebrada Guaypís .....	43

Figura 4. Curva Hipsométrica de la Microcuenca Quebrada Guaypís .....	43
Figura 5. Perfil del Cauce Principal de la Microcuenca Río Guaratoro .....	45
Figura 6. Curva Hipsométrica de la Microcuenca Río Guaratoro .....	45
Figura 7. Área de Bosque y No Bosque Microcuenca Quebrada El Rincón.....	46
Figura 8. Área de Bosque y No Bosque Microcuenca Quebrada Guaypís.....	47
Figura 9. Área de Bosque y No Bosque Microcuenca Río Guaratoro .....	48
Figura 10. Conflictos de uso del suelo Microcuenca Quebrada El Rincón .....	49
Figura 11. Conflictos de uso del suelo Microcuenca Quebrada Guaypís.....	50
Figura 12. Conflictos de uso del suelo Microcuenca Río Guaratoro .....	51
Figura 13. Comportamientos de temperaturas anuales .....	54
Figura 14. Comportamiento de precipitaciones anuales .....	55
Figura 15. Histograma de temperaturas mínimas anuales.....	56
Figura 16. Histograma de temperaturas máximas anuales.....	56
Figura 17. Histograma de temperaturas medias anuales .....	57
Figura 18. Histograma de precipitaciones promedio anuales .....	57

## **LISTA DE CUADROS**

Cuadro 1. Clases de tamaños de cuencas (Km <sup>2</sup> ) .....	12
Cuadro 2. Rangos de valores de compacidad .....	14
Cuadro 3. Clases de valores de pendiente del cauce (grados).....	15
Cuadro 4. Clases de valores de alargamiento .....	16
Cuadro 5. Análisis de agua en laboratorio.....	26

Cuadro 6. Coeficientes de escorrentía método racional .....	31
Cuadro 7. Valores de " y $\beta$ .....	33
Cuadro 8. Áreas para la ubicación de represas para captura de agua de escorrentía .....	38
Cuadro 9. Posición de las áreas para la ubicación de represas para captura de agua de escorrentía .....	39
Cuadro 10. Parámetros morfométricos de la Microcuenca Quebrada El Rincón	40
Cuadro 11. Parámetros morfométricos de la Microcuenca Quebrada Guaypís .	42
Cuadro 12. Parámetros morfométricos de la Microcuenca Río Guaratoro .....	44
Cuadro 13. Clases de Uso del Suelo de la Microcuenca Quebrada El Rincón ..	46
Cuadro 14. Clases de Uso del Suelo de la Microcuenca Quebrada Guaypís ....	47
Cuadro 15. Clases de Uso del Suelo de la Microcuenca Río Guaratoro .....	48
Cuadro 16. Conflictos de Uso del Suelo de la Microcuenca Quebrada El Rincón .....	49
Cuadro 17. Conflictos de Uso del Suelo de la Microcuenca Quebrada Guaypís	50
Cuadro 18. Conflictos de Uso del Suelo de la Microcuenca Río Guaratoro .....	51
Cuadro 19. Determinación del color del suelo en seco y húmedo .....	53
Cuadro 20. Intensidad Probable (mm/h) Microcuenca Quebrada El Rincón .....	58
Cuadro 21. Caudal (Q) Método Racional de la Microcuenca Quebrada El Rincón .....	59
Cuadro 22. Intensidad Probable (mm/h) Microcuenca Quebrada Guaypís .....	59
Cuadro 23. Caudal (Q) Método Racional de la Microcuenca Quebrada Guaypís .....	60

Cuadro 24. Intensidad Probable (mm/h) Microcuenca Río Guaratoro .....	60
Cuadro 25. Caudal (Q) Método Racional de la Microcuenca Río Guaratoro.....	61

## LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Mapa de las áreas para la ubicación de represas de captura de agua de escorrentía .....	73
Anexo 2. Mapa de las tres áreas seleccionadas para el establecimiento de represas de captura de agua de escorrentía .....	74
Anexo 3. Mapa de uso actual del suelo Microcuenca Quebrada El Rincón .....	75
Anexo 4. Mapa de uso actual del suelo Microcuenca Quebrada Guaypís .....	76
Anexo 5. Mapa de uso actual del suelo Microcuenca Río Guaratoro.....	77
Anexo 6. Mapa de conflictos de uso del suelo Microcuenca Quebrada El Rincón .....	78
Anexo 7. Mapa de conflictos de uso del suelo Microcuenca Quebrada Guaypís	79
Anexo 8. Mapa de conflictos de uso del suelo Microcuenca Río Guaratoro .....	80
Anexo 9. Precisión del mapa de uso actual del suelo Microcuenca Quebrada El Rincón.....	81
Anexo 10. Precisión del mapa de uso actual del suelo Microcuenca Quebrada Guaypís.....	82
Anexo 11. Precisión del mapa de uso actual del suelo Microcuenca Río Guaratoro .....	83
Anexo 12. Resultados de análisis de suelos en laboratorio .....	84

Anexo 13. Tabla de Permeabilidad del Suelo y Aplicabilidad de los Ensayos de Perme Coeficiente de Permeabilidad (cm/s) .....	85
Anexo 14. Resultados de análisis de suelo Microcuenca Quebrada el Rincón horizonte A.....	86
Anexo 15. Resultados de análisis de suelo Microcuenca Quebrada el Rincón horizonte B.....	87
Anexo 16. Resultados de análisis de suelo Microcuenca Quebrada Guaypís horizonte A.....	88
Anexo 17. Resultados de análisis de suelo Microcuenca Quebrada Guaypís horizonte B.....	89
Anexo 18. Resultados de análisis de suelo Microcuenca Río Guaratoro horizonte A .....	90
Anexo 19. Resultados de análisis de suelo Microcuenca Río Guaratoro horizonte B .....	91
Anexo 20. Determinación de orgánicos Quebrada El Rincón .....	92
Anexo 21. Determinación de orgánicos Quebrada Guaypís .....	93
Anexo 22. Determinación de orgánicos Río Guaratoro.....	94
Anexo 23. Determinación física y microbiológica Quebrada El Rincón .....	95
Anexo 24. Determinación física y microbiológica Quebrada Guaypís.....	97
Anexo 25. Determinación física y microbiológica Río Guaratoro .....	99
Anexo 26. Análisis estadísticos de las temperaturas anuales y precipitaciones del municipio de Siguatepeque .....	101
Anexo 27. Mapa de ubicación general del municipio de Siguatepeque .....	102

Anexo 28. Mapa de la red hídrica del municipio de Siguatepeque.....	103
Anexo 29. Mapa de pendientes del municipio de Siguatepeque.....	104
Anexo 30. Mapa de pendientes de la ciudad de Siguatepeque .....	105
Anexo 31. Mapa geológico del municipio de Siguatepeque .....	106
Anexo 32. Mapa de suelos del municipio de Siguatepeque.....	107
Anexo 33. Mapa de ubicación de la Microcuenca Quebrada El Rincón.....	108
Anexo 34. Mapa de ubicación de la Microcuenca Quebrada Guaypís .....	109
Anexo 35. Mapa de ubicación de la Microcuenca Río Guaratoro .....	110
Anexo 36. Imágenes Microcuenca Quebrada El Rincón.....	111
Anexo 37. Imágenes Microcuenca Quebrada Guaypís.....	112
Anexo 38. Imágenes Microcuenca Río Guaratoro .....	113
Anexo 39. Hoja de campo .....	114

## **CAPITULO 1**

### **1 INTRODUCCIÓN**

El agua es la base del desarrollo sostenible, esta es esencial para todos los seres vivos y las actividades de subsistencia cotidianas (Connor, 2015).

A nivel mundial han aumentado las extracciones de agua dulce en un 1% anual desde los años 80, la principal causa es la creciente demanda de los países en desarrollo (WWAP, 2016).

Es por esto que se debe optar por alternativas de acceso al recurso hídrico, como ser la captación de agua de escorrentía, esta es considerada como la recolección de agua de lluvia superficial para propósitos de consumo, producción agropecuaria y forestal; este método disminuye el riesgo de erosión al reducir la escorrentía libre del agua sobre las tierras (Villagrán, 2015); para la implementación de este método, es necesaria la infraestructura básica, como ser represas y el abastecimiento eficiente del recurso, esto es considerado como fuente de desarrollo económico y social de un país, región o ciudad (Cruz & Martínez, 2015). De esta manera se concede a la población, los servicios de calidad necesarios para el acceso adecuado al recurso hídrico (Guzmán, Nava, & Díaz, 2015).

La ciudad de Siguatepeque se encuentra en constante crecimiento demográfico, incrementando la exigencia del abastecimiento del recurso hídrico, en la actualidad no existen suficientes fuentes para el abastecimiento hídrico, por lo tanto, la identificación de posibles alternativas que contribuyan a mitigar las necesidades hídricas de la población es una actividad prioritaria.

## 2 JUSTIFICACIÓN

El agua es uno de los recursos naturales de mayor importancia, tiene relación directa con la calidad de vida de las personas y es determinante en el funcionamiento del sistema económico (Cruz & Martínez, 2015).

En Siguatepeque actualmente durante el periodo de verano, el sistema de acceso al recurso hídrico es intensamente dependiente de la explotación del acuífero (57%). Esto debido a la pérdida en la producción de las fuentes de aguas superficiales disponibles, por otro lado en este estudio sostiene que el déficit de producción de agua en el año 2015 fue de 101.3 (l/s) y proyecta que para el año 2030 habrá un déficit de 181.5 (l/s) (PROMOSAS, 2016); por estos motivos, es necesaria la identificación y análisis de áreas para el establecimiento represas de captación y almacenamiento de agua de escorrentía, proporcionando con esto la ampliación de la oferta del recurso hídrico para la población durante la época de escasez y así mismo la protección del recurso hídrico subterráneo.

La tecnología moderna como los Sistemas de Información Geográfica (SIG), permiten el análisis y simulación de los procesos hidrológicos, tomando como base un Modelo Digital de Elevación (MDE) incluyendo variables edáficas e hidrológicas, sustentando la toma de decisiones para la elección de áreas para el establecimiento de represas de captura de agua de escorrentía. Mediante estos análisis se promueve el acceso a nuevas fuentes de agua que estén bajo un manejo sostenible y racional para beneficio de la población en general.

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo General**

Identificar áreas para la ubicación de represas para captura de agua de escorrentía, utilizando como base un Modelo Digital de Elevación (MDE) en combinación con variables edáficas e hidrológicas, para garantizar la disponibilidad del recurso hídrico para el consumo humano y producción agropecuaria, para la ciudad de Siguatepeque.

#### **3.2 Objetivos Específicos**

3.2.1 Determinar parámetros morfométricos, uso actual del suelo y conflictos de uso del suelo en las tres áreas seleccionadas.

3.2.2 Determinar el volumen de agua a capturar y área inundable de las represas a construir.

3.2.3 Proponer las dimensiones en ancho y altura de las represas a construir.

3.2.4 Analizar la permeabilidad de agua en el suelo y calidad del agua en las áreas para el establecimiento de represas.

## **4 REVISIÓN DE LITERATURA**

### **4.1 Cuenca hidrográfica**

Se considera una cuenca hidrográfica al espacio de terreno que es delimitado por las partes más altas de montañas, laderas y colinas, en donde se desarrolla un sistema de drenaje superficial que tiene su concentración de aguas en un río principal y su desembocadura en un río de mayor tamaño, lago o mar.

En una cuenca hidrográfica se encuentran los recursos naturales de suelo, agua, vegetación y otros, en este espacio se realizan todas las actividades de subsistencia (Faustino & Jiménez, 2000).

#### **4.1.1 Subcuenca**

Una subcuenca es una superficie de terreno catalogada como una subdivisión de la cuenca hidrográfica, según la estructura jerárquica. La subcuenca está conformada por un grupo de microcuencas (Hernández, Rodríguez, Jiménez, & Pimentel, 2015).

#### **4.1.2 Microcuenca**

Una microcuenca es aquella área que desarrolla su drenaje de forma directa al cauce principal de una subcuenca, un conjunto de microcuencas dan paso a la formación de una subcuenca (Ordoñez, 2011).

## **4.2 Escorrentía superficial**

La escorrentía superficial se refiere a la fracción de la precipitación que circula sobre la superficie terrestre, la cual no llega a infiltrarse completamente en el suelo; posteriormente llega a una corriente, para así poder ser drenada hasta la salida de una cuenca o un vertiente de agua (Rodríguez, 2010).

## **4.3 Infiltración**

La infiltración consiste en el movimiento del agua superficial hacia el interior del suelo. Este proceso permite la recarga de los acuíferos y el excedente del agua circula libremente por la superficie del suelo (Rascon & Jiménez, 2005).

## **4.4 Calidad del agua**

La calidad del agua, depende de factores tanto naturales como de la acción humana. Los factores naturales que se encuentran implicados son: la erosión del suelo, procesos atmosféricos, evapotranspiración, sedimentación, lixiviación natural de la materia orgánica y nutrientes del suelo, así como también los procesos hidrológicos y biológicos pueden alterar la composición física y química del agua.

En general la calidad del agua se determina realizando una comparación de las características físicas y químicas de una muestra de agua con unas directrices de calidad del agua o estándares.

El deterioro de la calidad del agua es motivo de preocupación a nivel mundial, debido al crecimiento de la población humana, la amenaza del cambio climático

ya que genera importantes alteraciones en el ciclo hidrológico, la expansión de la actividad industrial y agrícola (ONU, 2014).

#### **4.5 Represa**

Se define como represa a la edificación realizada en un punto específico de una corriente hídrica. Para controlar las inundaciones, aprovechamiento, almacenamiento y suministrar del recurso hídrico (Conference, 2013).

Los principales usos que se le da al recurso almacenado en la represa son: domésticos, animal y de riego, por lo tanto contribuyen significativamente al desarrollo humano (Guerrero, 2012).

#### **4.6 Captación de agua de escorrentía**

La captación de agua de escorrentía es una práctica (labor o procedimiento técnico), que permite aumentar la disponibilidad de agua, para uso doméstico, animal o vegetal. Generalmente, para realizar esta práctica se hace uso de técnicas mejoradas de manejo de suelos, agua, cultivos y animales; así como la edificación y manejo de obras hidráulicas que permiten captar, conducir, almacenar y distribuir el agua de lluvia (FAO, 2013b).

#### **4.7 Relaciones de la geología**

La geología es una ciencia que tiene como enfoque principal el estudio de la Tierra; analizando su composición y estructura, para establecer la dinámica de los procesos que se generan en la superficie del planeta, así como en su interior; asimismo hace uso de otras ciencias como ser la química y física.

Es de importancia tomar en cuenta que la geología es una ciencia histórica, ya que las investigaciones geológicas no se hacen solamente para conocer las características actuales, estas se realizan con el fin de saber sobre los procesos que tuvieron lugar en el pasado.

Al realizar análisis sobre la geología del planeta, se deben tomar en cuenta los rangos valores mínimos y máximos de la variable a estudiar, pues se deben tomar en cuenta los escenarios positivos y pesimistas.

La geología posee ramas estructuradas basadas en disciplinas científicas y áreas de estudio específicas, como ser: la hidrogeología, la cual centra su área de estudio en la dinámica, composición y almacenamiento de los recursos hidrológicos; la geomorfología, la cual es una de las ramas de la geología de mayor interés y enfoque científico, centra su área de estudio en todos los aspectos que están involucrados en las formas del terreno y su comportamiento (Fernandez, Robles, Yelamos, & Rodríguez, 2014).

#### **4.8 Propiedades físicas del suelo**

Las propiedades físicas del suelo son las que determinan la capacidad que tiene éste para brindar diferentes usos que sean de provecho para el ser humano.

Sin dejar desapercibido el uso sostenible, conservación, manejo y recuperación del recurso suelo.

Es necesario conocer los fundamentos principales de las características físicas del suelo (González-Márquez & Hansen, 2009).

#### **4.8.1 Textura**

La textura del suelo se puede definir como la proporción (en porcentaje de peso) de partículas con tamaños menores a 2 mm de diámetro (arena, arcilla y limo) que existen en los horizontes del suelo.

En edafología la textura de las partículas de un suelo, se clasifican en elementos gruesos (tamaño de diámetro superior a 2 mm) y elementos finos (tamaño inferior a 2 mm (Blanquer, Asensio, & Ramón, 2010).

La textura se encuentra intrínsecamente relacionada con la composición mineral, área superficial y el espacio de poros del suelo (García, Infante, & López, 2012).

#### **4.8.2 Estructura**

La estructura del suelo se enfoca en la capacidad que tiene este para descomponerse en agregados (arena, limo, arcilla y materia orgánica) de diferentes formas y tamaños.

A los agregados se les denomina elementos estructurales; la estructura está definida por la aglomeración de los agregados (Hernández et al., 2010).

#### **4.8.3 Porosidad**

Se define como el espacio poroso de un suelo que, en su estado natural se encuentra ocupado por aire o agua. El volumen del espacio poroso depende de la disposición de las partículas sólidas (González-Márquez & Hansen, 2009).

#### **4.8.4 Profundidad**

Los límites de suelo en su mayoría, son zonas de transición caracterizadas por poseer líneas puntuales de división. La profundidad de los límites ya sean

superiores e inferiores de cada uno de los horizontes, se mide en centímetros; se realiza la medición desde la superficie (incluyendo cobertura orgánica y mineral) del suelo hacia abajo (FAO, 2009).

#### **4.9 Uso del suelo**

Se define como uso del suelo a la condición de cómo se encuentra ordenado el uso de un territorio determinado, estas condiciones pueden ser actividades agrícolas, bosques, industriales, asentamientos humanos, entre otros. El diagnóstico del uso y cambio del suelo es imprescindible para la búsqueda del desarrollo sostenible (Orozco & Bocco, 2012).

#### **4.10 Sistemas de Información Geográfica**

Los sistemas de Información Geográfica (SIG) son una herramienta de análisis que permite almacenar, recuperar, manipular, analizar e identificar datos espaciales, estadísticos y temporales; estos posibilitan el análisis de mucha información sobre un punto determinado de la superficie terrestre y la toma de decisiones, así como determinar la facilidad de manejo de todos los datos sobre un lugar (imágenes satelitales, fotografías aéreas, bases de datos, estadística, etc.), permitiendo expresar el procesamiento de los datos, en forma de mapas (de Lázaro & González, 2014).

Están diseñados con el propósito de resolver problemas de planeamiento, organización y administración de recursos en áreas de interés. Desde el punto de vista funcional se dividen en cuatro etapas: ingreso de la información, almacenamiento, tratamiento y reporte (Lazo, 2014).

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son la herramienta principal para el manejo y uso de información geográfica, en los países en vías de desarrollo esta tecnología permite contribuir positivamente al avance de éstos, además constituye la mejor alternativa para el procesamiento de la información geográfica (Olaya, 2009).

#### **4.10.1 Clasificación Supervisada**

La técnica de clasificación supervisada funciona mediante el establecimiento de muestras de entrenamiento, las cuales están basadas en las clases que se consideren apropiadas; partiendo de estas muestras por medio del uso de algoritmos, se realiza una extracción de las características de cada una de las clases con las cuales se realizará la clasificación. Una clasificación supervisada genera como resultado una clasificación de alta precisión (Miralles, 1991).

#### **4.11 Aplicaciones de los Sistemas de Información Geográfica**

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son aplicables a distintos campos como ser: la arqueología, reconstrucciones históricas, geología, hidrografía, estrategias de mercadeo, administración de servicios públicos, seguridad e investigación, como también para la planificación y gestión regional urbana como rural, de grandes y pequeñas zonas geográficas; también se aplican en la prevención de desastres (Macías, 2016).

#### **4.12 Aplicación de los Sistemas de Información Geográfica a la hidrogeología**

El avance de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y la aplicación de las herramientas disponibles de estos, permiten ampliar el panorama de simulación y predicciones en el análisis de la distribución espacial aplicada al campo de la hidrogeología. La caracterización y modelación de la distribución espacial, requiere del uso de datos confiables así como técnicas adecuadas con el fin de obtener resultados auténticos (Rivera , Vargas , & Ciro, 2007).

#### **4.13 Modelo Digital de Elevación**

Un Modelo Digital de Elevación (MDE) es una representación visual y matemática de valores de altura con respecto al nivel medio del mar, esto permite la caracterización de las formas del relieve y los elementos u objetos presentes.

Estos valores se encuentran contenidos en un archivo de tipo raster, con una estructura regular, el cual es generado utilizando equipo de procesamiento de datos y software especializados.

En los modelos digitales de elevación existen dos cualidades fundamentales que son: la exactitud y la resolución horizontal o grado de detalle digital de representación en formato digital, estas varían dependiendo del método que se emplea para generarlos (INEGI, 2007).

#### 4.14 Parámetros Morfométricos

Una cuenca posee características físicas que tienen una relación directa con el comportamiento de los caudales que circulan por ella.

Los parámetros morfométricos de una cuenca son un conjunto de estimaciones elaboradas en un estudio hidrológico, orientados al aprovechamiento o control del recurso (Lux, 2016).

##### 4.14.1 Superficie de la cuenca (A)

Se define como la proyección horizontal de la superficie de la cuenca y que puede ser medida directamente de un mapa topográfico (Cuadro 1). Está delimitada por la divisoria de aguas y juega un papel fundamental en el proceso de escorrentía (Clavijo & Pérez, 2016).

**Cuadro 1.** Clases de tamaños de cuencas (Km<sup>2</sup>)

Rangos de áreas (Km <sup>2</sup> )	Nombre
1 – 5	Unidad
5 – 20	Sector
20 – 100	Microcuenca
100 – 300	Subcuenca
> 300	Cuencas

Fuente: (Clavijo & Pérez, 2016)

##### 4.14.2 Perímetro de la cuenca (P)

Es la longitud que se encuentra sobre un plano horizontal, que transita la divisoria de aguas. Este parámetro es medido en unidades de longitud y su expresión normalmente es en metros o kilómetros (Lux, 2016).

#### 4.14.3 Elevación media (Em)

La elevación media es un promedio de las elevaciones presentes en el área de la cuenca hidrográfica, representada por la unidad de metros sobre el nivel del mar (msnm) (Lux, 2016).

#### 4.14.4 Pendiente media (Pm)

La pendiente media es la media ponderada de las pendientes correspondientes al áreas de la cuenca, puede ser representadas en unidades de grados o porcentaje (IMFIA, 2010).

#### 4.14.5 Coeficiente de compacidad Gravelius (Kc)

El coeficiente de compacidad o índice Gravelius, representa la comparación entre el perímetro de la cuenca hidrográfica y una circunferencia de área igual a la de la cuenca considerada para el análisis (Ecuación 1), de acuerdo a los rangos de valores de compacidad (Cuadro 2) se determina a que clase corresponden (Ordoñez, 2011). Para obtener el Coeficiente de compacidad Gravelius, se emplea la siguiente ecuación:

**Ecuación 1.** Cálculo de coeficiente de compacidad Gravelius (Kc)

$$Kc = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Donde:

Kc: coeficiente de compacidad o índice de Gravelius

P: perímetro de la cuenca (Km)

A: área de la cuenca (Km<sup>2</sup>)

## **Cuadro 2.** Rangos de valores de compacidad

<b>Rangos de Kc</b>	<b>Clases de compacidad</b>
<b>1 - 1.25</b>	Redondeada a oval redonda
<b>1.25 - 1.50</b>	De oval redonda a oval oblonga
<b>1.50 - 1.75</b>	De oval oblonga a rectangular oblonga

**Fuente:** (Clavijo & Pérez, 2016)

### **4.14.6 Longitud del eje del río principal (Lc)**

Es la medida de la longitud del río principal de la cuenca, desde la parte más alta hasta la salida del cauce, donde tienen su drenaje los afluentes y quebradas; este parámetro tiene influencia en el tiempo de concentración y en la mayoría de los índices morfométricos (Ordoñez, 2011).

### **4.14.7 Coeficiente de sinuosidad hidráulico (Sh)**

El coeficiente de sinuosidad o índice de sinuosidad representa cuanto se aparta el río de una línea recta. Se calcula por la relación entre la distancia que aparta los puntos de inicio y fin y la distancia entre ellos (Clavijo & Pérez, 2016).

### **4.14.8 Pendiente promedio del río principal (Sc p)**

La pendiente promedio del río principal consiste en determinar el desnivel promedio entre los puntos más elevados y más bajos del río (Fuentes, 2004). Se genera una clasificación (Cuadro 3) de la pendiente promedio del río principal de acuerdo a los rangos de pendiente, como se muestra a continuación:

**Cuadro 3.** Clases de valores de pendiente del cauce (grados)

Rangos de pendiente °	Clases
.01 - .05	Suave
.06 - .11	Moderada
.12 - .17	Fuerte

Fuente: (Fuentes, 2004)

#### 4.14.9 Tiempo de concentración Kirpich (Tc Kirpich)

El tiempo de concentración Kirpich es el tiempo que tarda en transitar una gota de agua, desde el punto más lejano hasta el punto de interés (Ecuación 2). Conciérne al lapso entre el final de la lluvia y el instante en que finaliza el deslizamiento superficial (Fuentes, 2004). Para obtener el tiempo de concentración Kirpich, se emplea la siguiente ecuación:

**Ecuación 2.** Cálculo del Tiempo de concentración Kirpich (Tc Kirpich)

$$Tc = 0.06626 * \left( \frac{L^2}{S} \right)^{0.385}$$

Donde:

Tc: Tiempo de concentración (min)

L: Longitud del cauce principal en (Km)

S: Pendiente del cauce principal (m/m)

#### 4.14.10 Índice de forma Horton (Rf)

El índice de forma Horton se refiere a la relación entre el área y el ancho máximo de la cuenca (Ecuación 3); intenta medir cuan alargada puede ser la cuenca (Cuadro 4), este índice fue planteado por Horton (Fuentes, 2004). Para obtener el índice de forma Horton se emplea la siguiente ecuación:

#### Ecuación 3. Índice de forma (Horton) (Rf)

$$I_a = \frac{L_m}{l}$$

Donde:

$I_a$ : Índice de alargamiento

$L_m$ : Longitud máxima de la cuenca (m o Km)

$l$ : Ancho máximo de la cuenca (m o Km)

#### Cuadro 4. Clases de valores de alargamiento

Rangos I	Clases de alargamiento
0.0 - 1.4	Poco alargada
1.5 - 2.8	Moderadamente alargada
2.9 - 4.2	Muy alargada

Fuente: (Fuentes, 2004)

#### 4.14.11 Relación de elongación

Esta variable impuesta por Schumm en 1956, hace la relación entre el diámetro de un círculo de igual área de la cuenca asociado con la longitud de la cuenca en estudio (Jardí, 1985).

#### **4.14.12 Curva hipsométrica**

Una curva hipsométrica es una representación gráfica de la relación entre la altitud y superficie de una cuenca. Determina que cantidad de área se encuentra debajo y sobre la curva (Máximo, 2002).

#### **4.15 Referencia de estudios afines**

El área del municipio de Siguatepeque ha sido escenario de algunas investigaciones relacionadas con el recurso hídrico, impulsadas por la problemática de escasez de agua.

##### **4.15.1 Plan de inversión en infraestructura de agua potable para aguas de Siguatepeque**

La investigación se basa en la recopilación de los documentos desarrollados para Aguas de Siguatepeque. En específico se trata sobre la evaluación de las fuentes de agua, tomando en cuenta su capacidad y calidad.

Además, se enfoca en la red de distribución, la sectorización actual de la ciudad y la propuesta a futuro, trata sobre los escenarios de consumo evaluados en el presente y futuro. Se elaboran las alternativas de solución, con el propósito de que se logren concretar alternativas viables (PROMOSAS, 2016).

#### **4.15.2 Gestión integral del recurso hídrico para el abastecimiento de agua potable en el municipio de Siguatepeque, departamento de Comayagua, Honduras.**

La investigación se basó en el análisis de las fuentes de abastecimiento de agua del municipio de Siguatepeque, tanto de agua subterránea como superficial.

Se realizó un estudio profundo del acuífero del casco urbano, además se realizaron análisis sobre las fuentes de agua superficial. El objetivo principal de la investigación fue efectuar una evaluación sobre el recurso hídrico del Municipio de Siguatepeque (Geólogos del Mundo, ASIDE, ECOREDES, ESNACIFOR, & Municipalidad de Siguatepeque, 2010).

## 5 COMENTARIOS

El recurso hídrico es necesario para la vida, además de ser un elemento de importancia para el desarrollo.

En la actualidad se observa una disminución alarmante en las fuentes de abastecimiento de del recurso hídrico, tanto subterráneas como superficiales. Denotando que la mayor parte de la exigencia del abastecimiento del recurso hídrico en el municipio de Siguatepeque, dependiente en gran medida de la extracción de agua de origen subterránea. Estas extracciones son cada día más numerosas, esta situación es generada por la falta de fuentes de agua de origen superficial.

Es por esto que se deben identificar alternativas viables de solución ante la problemática que enfrenta el municipio de Siguatepeque, que seguirá aumentando con el paso del tiempo, aumento poblacional y el acelerado crecimiento económico que presenta el municipio.

La identificación de áreas para la ubicación de represas para captura de agua de escorrentía, es una excelente alternativa destinada a solventar la necesidad de la población, en cuanto a la disponibilidad del recurso hídrico; además de esto, permite realizar un uso eficiente del agua que fluye libremente (escorrentía) que ocasiona severos daños a los suelos, esta puede ser capturada y almacenada, para ser utilizada durante la época de escasez. Proporcionando una ampliación de la oferta del recurso hídrico para el municipio y promoviendo la recuperación del daño ocasionado al acuífero.

## **CAPÍTULO 2**

### **1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

La escasez de agua se trata de la insatisfacción total o parcial de la demanda existente, formando la lucha económica por la calidad y la cantidad del agua. Esta situación ocurre a nivel mundial, por dicha problemática se crean los conflictos entre los beneficiarios del recurso, el agotamiento definitivo de aguas subterráneas, y las consecuencias negativas para el ambiente.

Uno de los aspectos principales que caracterizan la escasez del recurso hídrico, es el nivel de desarrollo de infraestructuras que intervienen en el almacenamiento, distribución y acceso al agua (FAO, 2013a).

El potencial hídrico de Honduras es afectado por el clima y la topografía generando en muchas ocasiones fenómenos negativos de sequía, afectando en todas las formas el desarrollo del país en general (Ley Visión de País y Plan de Nación, 2010).

En la actualidad el municipio de Siguatepeque cuenta con una red de pozos y tres fuentes de abastecimiento de agua de origen superficial, la Microcuenca de Chamalucuará, Guaratoro y Cálán. Pero debido a las necesidades existentes de la población, estas fuentes no son suficientes para el abastecimiento de agua (Geólogos del Mundo et al., 2010).

Durante la época de verano en la ciudad de Siguatepeque, se toman medidas drásticas para enfrentar la sequía, como ser el abastecimiento de agua a la

población, haciendo uso de las aguas subterráneas mediante pozos (Laguna, 2016).

Ante la problemática del abastecimiento de agua de la ciudad de Siguatepeque, cabe destacar que la escasez de agua puede aumentar con casi todas las formas de desarrollo económico, ya que se intensifica el requerimiento del recurso.

Tomando en cuenta estos aspectos es crucial determinar metodologías que faciliten, la identificación de áreas para establecer represas de captura y almacenamiento de agua, ya que con la oferta hídrica existente no se logra suplir la demanda de abastecimiento de agua actual de la ciudad y mucho menos el volumen de agua potable que demandará la población en los próximos años, de esta manera se estará contribuyendo a la ampliación de la oferta del recurso hídrico, sin menoscabar el manejo sostenible del recurso.

## **2 HIPÓTESIS**

Es posible identificar las áreas adecuadas para el establecimiento de represas de captura de agua de escorrentía, utilizando como base un Modelo Digital de Elevación (MDE) en combinación con variables edáficas e hidrológicas.

### **3 METOLOGÍA**

#### **3.1 Descripción del área de estudio**

##### **3.1.1 Ubicación**

El municipio de Siguatepeque fue declarado como tal, el 14 de abril de 1861. El área territorial corresponde a 397.80 Km<sup>2</sup>, consta de 11 aldeas y 109 caseríos (INE, 2013). Su ubicación es en el departamento de Comayagua, Honduras (COPECO, 2014).

##### **3.1.2 Limites**

Según (COPECO, 2014), los límites del municipio de Siguatepeque son los siguientes:

Al Norte: municipio de Meámbar (departamento de Comayagua).

Al Sur: municipio de Jesús de Otoro (departamento de Intibucá) y municipios de Comayagua.

Al Este: municipio de El Rosario (departamento de Comayagua).

Al Oeste: municipios de Jesús de Otoro (departamento de Intibucá), Taulabé y San José de Comayagua (departamento Comayagua).

##### **3.1.3 Clima**

La ciudad de Siguatepeque se ubica en la región central del país, en una altiplanicie con una altitud que oscila en los valores de 800 msnm a 1,400 msnm aproximadamente, caracterizado como zona de vida de bosque húmedo subtropical montano bajo. La precipitación varía en los rangos de 1,200 mm a 1,300 mm, la temperatura promedio anual es aproximadamente 21.1 °C, varía en los rangos de 20°C y 25°C (COPECO, 2014).

### **3.1.4 Topografía**

El municipio de Siguatepeque es un altiplano el cual representa aproximadamente el 0.35 % del territorio nacional. La topografía se considera relativamente plana, con una elevación sobre el nivel del mar que oscila entre los 1,000 y 1,100 msnm.

De acuerdo a la geomorfología que presenta el municipio de Siguatepeque, se observa la presencia de un sistema de Montañas que rodean El altiplano, por lo cual se define claramente dos provincias fisiográficas: La del altiplano en el centro y la Provincia Montañosa que se desarrolla alrededor del altiplano y al norte de las montañas del Parque Nacional Cerro Azul Meámbar (PANACAM) (Consortio Fichtner Water & Transportation, GOPA, & GATESA, 2009).

### **3.1.5 Geología general**

La geología de Centroamérica es compleja, esto es debido al choque entre tres placas tectónicas: la Norte Americana, la del Caribe y la de Cocos.

Honduras se encuentra situada en la placas del Caribe y de Cocos, en la sección en la cual está ubicada Honduras, se le designa bloque Chortís (Geólogos del Mundo, 2010).

El municipio de Siguatepeque se encuentra entre dos graben de mucha importancia: Comayagua y Jesús de Otoro, es por esto que el altiplano de Siguatepeque es un horst ubicado entre dos grandes e importantes graben, lo que no permite que los cauces fluviales sean desarrollados, a diferencia de

Comayagua y Jesús de Otoro, pues existen cauces fluviales importantes y desarrollados como ser, el paso del Río Humuya por Comayagua y el Río Ulúa por Jesús de Otoro (Geólogos del Mundo et al., 2010).

### **3.1.6 Hidrografía**

Hidrográficamente el municipio de Siguatepeque se encuentra dentro de la cuenca del Río Ulúa, en la vertiente del Atlántico (Geólogos del Mundo et al., 2010).

Según (Consorcio Fichtner Water & Transportation et al., 2009), la red hídrica del municipio está compuesta de la siguiente forma:

- 1) Río Selguapa
- 2) Río Tepemechín
- 3) Río Maragua
- 4) Río Calán
- 5) Río Puran
- 6) Río Uluíta
- 7) Río Guaratoro o Qda. Chamalucuará
- 8) Río Tamalito
- 9) Río Turque
- 10) Río Simbra

## **4 TRABAJO DE CAMPO**

El trabajo de campo fue una labor fundamental, se realizó con el propósito de obtener datos que consoliden la calidad de la investigación, dando lugar a que

los resultados sean acordes a las características propias del sitio de estudio, así como la viabilidad y aplicabilidad de la investigación.

#### **4.1 Propiedades físicas del suelo**

Las propiedades físicas del suelo son esenciales en el estudio, ya que por medio de estas se determinó el factor de la permeabilidad, de las zonas identificadas con potencial para el establecimiento de las represas de captura de agua de escorrentía, se hizo uso de herramientas en condiciones óptimas para las actividades realizadas en el campo obteniendo resultados de calidad.

Procedimiento:

- a) Se elaboro una calicata en cada zona de estudio específica, con la finalidad de realizar una caracterización del suelo.
- b) Se identifico el color del suelo de cada una de las tres áreas, por medio la recolección de muestras cada calicata. La identificación se realizó según la clasificación de la Tabla Munsell, tomando dos muestras por horizonte, una en estado seco y otra en estado húmedo.
- c) Se obtuvieron muestras de suelo, 10 lb de suelo por cada horizonte de cada calicata, para análisis en laboratorio de suelos las siguientes propiedades: textura, estructura y porosidad.

#### **4.2 Calidad del agua**

La calidad del agua es un factor de mucha importancia para la elección de una fuente de abastecimiento de agua para una población, pues esta define los tratamientos que se deben aplicar al agua para poder ser utilizada. Es de

carácter fundamental, realizar análisis de la calidad del agua en laboratorios especializados de las fuentes seleccionadas (Cuadro 5), con la finalidad de identificar si existe algún agente nocivo que perjudique a los beneficiados de esta fuente.

Procedimiento:

- a) Se recolectaron muestras de agua de las tres áreas seleccionadas para el establecimiento de represas de captura de agua de escorrentía, para ser analizadas en el laboratorio.
- b) Se trasladaron las muestras de agua recolectada en las áreas potenciales específicas al laboratorio, para el análisis requerido. Los análisis que se realizaron se encuentran en el siguiente cuadro:

**Cuadro 5.** Análisis de agua en laboratorio

<b>Determinación Física</b>	Dureza total
Potencial de Hidrógeno (pH)	Sulfatos (SO <sub>4</sub> )
Conductividad Eléctrica	Nitratos (NO <sub>3</sub> )
Total Sólidos Disueltos	Nitritos (NO <sub>2</sub> )
Determinación Química	Nitrógeno Amoniacal (NH <sub>4</sub> )
Alcalinidad	Fluoruros (F <sup>-</sup> )
Sodio (Na)	Turbidez
Potasio (K)	Sólidos Suspendidos Totales
Calcio (Ca)	Cadmio (Cd)
Magnesio (Mg)	<b>Determinación Microbiológica</b>
Cloruros (Cl <sup>-</sup> )	Coliformes Totales
Hierro (Fe)	Coliformes Fecales
Manganeso (Mn)	<b>Determinación de orgánicos</b>
Cobre (Cu)	Plaguicidas organoclorados
Zinc (Zn)	Plaguicidas organofosforados y piretroides

### **4.3 Determinación de uso actual del suelo**

La determinación del uso actual del suelo en cada una de las áreas identificadas, se realizó mediante un levantamiento de muestras de campo, haciendo uso de la herramienta GPS. Seguidamente se realizó el análisis y depuración de estos datos, para ser utilizados como muestras de entrenamiento en un Sistema de Información Geográfica (SIG) y poder así, llevar a cabo una clasificación supervisada de la imagen correspondiente a cada área de interés.

Procedimiento:

- a) Se tomaron puntos de muestreo respecto al uso actual del suelo existentes dentro del área, utilizando como herramienta un GPS.

Las muestras se tomaron en puntos representativos de cada uno de los diferentes usos, observados dentro de las microcuencas de interés.

## **5 PROCEDIMIENTOS DE OFICINA**

Los procedimientos de oficina necesarios para la investigación, fueron de suma importancia, pues por medio del uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) en combinación con los datos de campo obtenidos, se lograron identificar las áreas para el establecimiento de represas de captura de agua de escorrentía, así como los parámetros morfométricos de las posibles microcuencas; proporcionando una alternativa eficiente y de alta precisión para identificar dichas áreas.

En esta sección de la investigación se tomaron en cuenta los parámetros meteorológicos del municipio de Siguatepeque.

### **5.1 Elaboración de mapas**

Los mapas elaborados por medio de sistemas de información geográfica (SIG), son un insumo de alto valor, pues en ellos se observa la información que se ha recolectado de forma gráfica; permiten realizar análisis y simulaciones de procesos en áreas determinadas. Para efectos de la investigación se realizaron los siguientes mapas del municipio:

- a) Ubicación
- b) Hidrológico
- c) Pendiente
- d) Geológico
- e) Suelos
- f) Uso actual del suelo
- g) Conflictos de uso
- h) Áreas potenciales para el establecimiento de represas de captura de agua de escorrentía
- i) Pendiente del casco urbano

### **5.2 Cálculo de dimensiones en ancho, altura, área inundable y capacidad de volumen a retener de las represas a construir**

Este procedimiento se realizó mediante el uso de herramientas especializadas en hidrología y tridimensionales de un sistema de información geográfica (SIG),

utilizando como base el modelo de elevación digital y las respectivas curvas de nivel generadas a partir del mismo.

La idea principal mediante el uso de estas herramientas fue, generar un modelo tridimensional del área de estudio en donde se identificó a nivel visual en función de la red hidrológica y el relieve del terreno, los puntos o depresiones naturales del terreno en donde es posible establecer una represa que se encuentre a una altitud mayor que el casco urbano del municipio, para que el volumen de agua capturado de la represa sea distribuido a la población por el método de gravedad, evitando con esto las grandes inversiones de métodos de abastecimiento de agua por bombeo.

### **5.2.1 Cálculo del caudal**

Se realizó el cálculo del caudal de cada una de las áreas potenciales identificadas. Para este estudio se utilizó el método racional para las áreas identificadas.

#### **5.2.1.1 Método Racional**

Este método realiza una estimación del caudal máximo a partir de la intensidad de precipitación (Ecuación 4), conteniendo todas las abstracciones de escorrentía en un solo coeficiente (Cuadro 6). Para el cálculo de la descarga máxima de diseño se emplea la siguiente ecuación:

**Ecuación 4.** Descarga máxima de diseño

$$Q = 0,278 CIA$$

Donde:

Q: Descarga máxima de diseño ( $m^3 /s$ )

C: Coeficiente de escorrentía

I: Intensidad de precipitación máxima horaria (mm/h)

A: Área de la cuenca ( $Km^2$ )

El valor del coeficiente de escorrentía se estableció en base a las características de la cobertura vegetal y del tipo de suelo de las áreas identificadas (Cuadro 6). Es por esto que, los coeficientes de escorrentía tienen variaciones según las características que presente el área. En la siguiente tabla se encuentran los distintos coeficientes de escorrentía de acuerdo a las características del área:

**Cuadro 6.** Coeficientes de escorrentía método racional

COBERTURA VEGETAL	TIPO DE SUELO	PENDIENTE DEL TERRENO				
		PRONUNCIADA	ALTA	MEDIA	SUAVE	DESPRECIABLE
		> 50%	> 20%	> 5%	> 1%	< 1%
Sin vegetación	Impermeable	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60
	Semipermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Permeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
Cultivos	Impermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Semipermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Permeable	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20
Pastos, vegetación ligera	Impermeable	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45
	Semipermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Permeable	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15
Hierba, grama	Impermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Semipermeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
	Permeable	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10
Bosques, densa vegetación	Impermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Semipermeable	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25
	Permeable	0,25	0,20	0,15	0,10	0,05

**Fuente:** (Clavijo & Pérez, 2016)

Para la determinación de la intensidad de precipitación máxima horaria (mm/h), es necesario hacer uso de ecuaciones pluviométricas, las cuales dan a conocer la intensidad media que corresponden a tiempos de cinco minutos a una hora (Ecuación 5) y entre una hora y 24 horas (Ecuación 6), posterior a esto se procede a la obtención de la intensidad correspondiente a Tiempo de retorno ( $T_r$ ) específico (Ecuación 7), obteniendo valores de  $\alpha$  y  $\beta$  (Cuadro 7) (SOPTRAVI, 1996). Se hizo uso de las ecuaciones presentadas a continuación:

**Ecuación 5.** Ecuación pluviométrica para tiempos de 5 minutos a 1 hora

$$I_t = \frac{226.81}{(t + 7.5)^{0.66}} I_{24}$$

**Ecuación 6.** Ecuación pluviométrica para tiempos de 1 hora a 24 horas

$$I_t = \frac{464.25}{t^{0.85}} I_{24}$$

Donde:

$I_t$ : Intensidad horaria de la duración  $t$ , y frecuencia bianual

$I_{24}$ : Intensidad horaria en 24 horas

$t$ : Tiempo/día en horas

**Ecuación 7.** Intensidad de precipitación máxima horaria (mm/h), correspondiente a un Tiempo de retorno ( $T_r$ ) cualquiera

$$I_{t, T_r} = (\alpha + \beta \log T_r) \alpha I_t$$

$I_{t, T_r}$ : Intensidad máxima de la precipitación de duración  $t$  con período de retorno de  $T_r$  años

$\alpha$  y  $\beta$ : Valores a partir de los datos pluviográficos (Cuadro 7)

$T_r$ : Tiempo de retorno años

A continuación, se muestra el cuadro correspondiente a los valores de  $\alpha$  y  $\beta$ :

**Cuadro 7.** Valores de  $\alpha$  y  $\beta$ 

Estación	$\alpha$	$\beta$
La Entrada	0.723	0.752
Siguatepeque	0.694	0.849
Playitas	0.691	0.991
Santa Clara	0.702	0.808
La Ermita	0.700	0.784
Villa Ahumada	0.639	1.009
El Piñonal	0.641	0.963
Ing. El Porvenir	0.722	0.803
Flores	0.613	1.127
La Gloria	0.733	0.783
Las Limas	0.619	1.668
Chumbagua	0.630	1.093
El Coyolar	0.681	0.860
Guayabillas	0.612	1.032
La Conce	0.618	1.225
Nacaome	0.709	0.775
Pespire	0.712	0.767
El Modelo	0.519	1.385
Campamento	0.634	0.975
Promedios	0.663	0.982

Fuente: (SOPTRAVI, 1996)

### **5.3 Determinación de parámetros morfométricos, uso actual del suelo y conflictos de uso del suelo en las áreas seleccionadas.**

Mediante el uso de herramientas de hidrología de un sistema de información geográfica (SIG), se determinaron los parámetros morfométricos de las microcuencas en estudio, obteniendo el perfil del cauce principal y una curva hipsométrica.

Se realizó una clasificación supervisada de una imagen satelital de alta resolución de Google del año 2016 de una resolución espacial de 1.6 x 1.6 m, de las áreas en estudio mediante el uso de herramientas especializadas en análisis espacial de sistema de información geográfica (SIG).

Para el análisis de conflictos de uso en las áreas seleccionadas, se utilizó un sistema de información geográfica (SIG), mediante el cual se realizó la combinación de la capa de uso actual del suelo con la capa de uso potencial del suelo, lo que permitió determinar aquellas áreas en las cuales se está realizando un uso adecuado, sobreuso y sub-uso del suelo lo que constituye el mapa de conflictos de uso.

#### **5.4 Análisis Estadísticos**

a) Se realizó un análisis estadístico de datos meteorológicos del municipio de Siguatepeque, de series anuales de temperatura (media, máximos y mínimos) y comportamientos de las series anuales de precipitaciones.

b) Mapa uso actual del suelo: La precisión del mapa de uso actual del suelo se evaluó estadísticamente en función de las muestras obtenidas en campo.

El 80% de las muestras se utilizaron para desarrollar un modelo de clasificación supervisada de la imagen satelital, para generar el mapa de uso actual del suelo, el 20% restante de las muestras se utilizaron para validar la precisión del modelo de clasificación, estas muestras no participaron en el proceso de clasificación.

c) Análisis de laboratorio: En base a los resultados de laboratorio de los análisis de las muestras de suelo y calidad del agua, de las tres áreas identificadas para el establecimiento de represas de captura de agua de escorrentía, se realizaron comparaciones entre estos resultados.

## 6 COMENTARIOS

La problemática existente en el municipio de Siguatepeque es real y de alta preocupación, las fuentes actuales de abastecimiento cada día enfrentan más desafíos al no ser suficientes para el óptimo abastecimiento de agua en cantidad y calidad a la población.

Durante el desarrollo de la metodología de la investigación de identificación de áreas para la ubicación de represas para captura de agua de escorrentía, utilizando un modelo digital de elevación (MDE) incluyendo variables edáficas e hidrológicas, uno de los segmentos que requirió un análisis profundo, así como comparación de cuáles eran las opciones de mayor viabilidad, fue la elección de las áreas para establecer las represas. Posterior a esto se procedió al desarrollo de las actividades a realizar en los sitios de interés.

Los resultados de la aplicación de la metodología para identificación de las áreas para la ubicación de represas para captura de agua de escorrentía, utilizando un modelo digital de elevación (MDE), fueron satisfactorios ya que se lograron identificar dichas áreas en los procedimientos de oficina y al realizar las inspecciones correspondientes en cada sitio, se observó y analizó cada detalle concluyendo que la metodología aplicada en oficina fue un éxito.

La inspección de las áreas, recolección de datos, muestras de suelo y agua realizadas en campo estuvieron acordes a lo planificado y se lograron generar los resultados correspondientes para cada área identificada de estudio.

## **CAPÍTULO 3**

### **1 RESULTADOS**

#### **1.1 Identificación de áreas para la ubicación de represas para captura de agua de escorrentía, utilizando como base un Modelo Digital de Elevación (MDE)**

La identificación de áreas para la ubicación de represas para captura de agua de escorrentía, se realizó en base a un Modelo Digital de Elevación (MDE) de una resolución de 15 x 15 m. Mediante este modelo se generaron curvas de nivel cada 10 m, las cuales posteriormente en combinación con la red hídrica y Modelo Digital de Elevación (MDE), se utilizaron para identificar las áreas apropiadas para la ubicación de represas.

Los parámetros definidos para la elección de estas áreas fueron:

- a) Ubicación de las áreas en una mayor altitud que el casco urbano, evitando con esto la implementación de sistemas de bombeo para la distribución del agua capturada y almacenada, ya que genera elevados costos y no sería rentable.
- b) Localización estratégica para la distribución y tratamiento, del agua a capturar y almacenar.
- c) La distancia entre las curvas debía ser las más angosta posible, permitiendo con esto la construcción de una cortina del menor ancho posible, minimizando los costos elevados de construcción.

- d) Sitios en donde el volumen de agua a capturar fuera el mayor posible, el cual será destinado a solventar la necesidad existente y futura de la población del municipio de Siguatepeque.

## **1.2 Cálculo de dimensiones en ancho, altura, área inundable y capacidad de volumen a retener de las represas a construir**

Para la determinación de la dimensión en ancho de las represas a construir, se tomó como base las áreas en donde la distancia entre las curvas de nivel fuera la menor o más angosta posible. La determinación de la dimensión de altura de las represas a construir, se basó en la diferencia entre las cotas máximas y mínimas, de cada una de las posibles represas a construir.

El área inundable de las posibles represas, se determinó en función del área de la cota máxima seleccionada, haciendo uso de herramientas especializadas en análisis espacial de un sistema de información geográfica (SIG).

El cálculo de la capacidad de volumen a retener de las represas a construir, se determinó mediante el Modelo Digital de Elevación (MDE) y área inundable de cada una de las posibles represas a construir, este cálculo se hizo de forma automática tomando en cuenta las depresiones y elevaciones del área inundable definida para cada posible represa.

## **1.3 Elección de tres áreas para la ubicación de represas para captura de agua de escorrentía en el municipio de Siguatepeque**

Al realizar todos los procedimientos y análisis para la identificación de áreas para la ubicación de represas para captura de agua de escorrentía en el

municipio de Siguatepeque (Cuadro 8), se obtuvieron diecisiete áreas para la ubicación de represas para captura de agua de escorrentía (Anexo 1), a continuación, se muestran un cuadro con los resultados obtenidos:

**Cuadro 8.** Áreas para la ubicación de represas para captura de agua de escorrentía

No.	RÍO O QUEBRADA	VOLUMEN (m <sup>3</sup> )	ÁREA (m <sup>2</sup> )	ÁREA (Km <sup>2</sup> )	ÁREA (ha)	COTA MAX	COTA MIN	ALTURA REP. (m)	ANCHO REP. (m)
1	QDA. PACAYAL GRANDE	4,158,523.05	412,596.39	0.41	41.26	1140	1120	20	187
2	QDA. PACAYAL MEDIANO	1,143,605.34	183,720.21	0.18	18.37	1130	1120	10	119
3	QDA. PACAYAL PEQUEÑO	507,630.41	113,354.79	0.11	11.34	1130	1120	10	49
4	QDA.EL RINCÓN	1,089,736.04	108,915.00	0.11	10.89	1310	1300	10	121
5	QDA. LOS SAUCES	1,020,415.25	123,888.11	0.12	12.39	1210	1200	10	86
6	QDA. DE CHAMALUCUARA	931,328.82	80,683.37	0.08	8.07	1330	1320	10	127
7	RÍO CALÁN	797,533.77	97,910.01	0.10	9.79	1190	1170	20	121
8	QDA. LA SOLEDAD	146,123.73	21,368.77	0.02	2.14	1400	1390	10	84
9	QDA. LAS CANOAS	94,529.84	15,194.96	0.02	1.52	1370	1360	10	78
10	QDA. GUAYPÍS	1,353,916.06	132,453.94	0.13	13.25	1180	1170	10	128
11	QDA. LA PORRA	62,383.92	13,183.47	0.01	1.32	1650	1640	10	75
12	QDA. LA PORRA 2	102,591.60	17,381.45	0.02	1.74	1510	1500	10	90
13	RÍO GUARATORO GRANDE	372,283.73	38,991.10	0.04	3.90	1260	1240	20	130
14	RÍO GUARATORO MEDIANO	86,785.39	17,081.34	0.02	1.71	1250	1240	10	74
15	QDA. DEL RODEO	71,787.65	13,186.08	0.01	1.32	1180	1170	10	95
16	QDA. SISIRLITECA	89,955.67	17,337.58	0.02	1.73	1280	1270	10	37
17	QDA. POZA DEL BANCO	209,707.46	39,521.47	0.04	3.95	1180	1170	10	42

Luego de un minucioso análisis sobre las áreas para la ubicación de represas para captura de agua de escorrentía identificadas, se realizó una elección de las mejores opciones (Cuadro 9), de acuerdo a: la altitud en que se encuentra con respecto a una planta de tratamiento de agua existente, así como la cercanía a una de estas plantas y la cantidad de agua que almacenaría. A continuación, se muestra la posición, de las mejores opciones de áreas para la ubicación de represas para captura de agua de escorrentía:

**Cuadro 9.** Posición de las áreas para la ubicación de represas para captura de agua de escorrentía

No.	RÍO O QUEBRADA	VOLUMEN (m <sup>3</sup> )	ÁREA (m <sup>2</sup> )	ÁREA (Km <sup>2</sup> )	ÁREA (ha)	COTA MAX	COTA MIN	ALTURA REP. (m)	ANCHO REP. (m)
1	QDA.EL RINCÓN	1,089,736.04	108,915.00	0.11	10.89	1310	1300	10	121
2	QDA. GUAYPÍS	1,353,916.06	132,453.94	0.13	13.25	1180	1170	10	128
3	RÍO GUARATORO GRANDE	372,283.73	38,991.10	0.04	3.90	1260	1240	20	130
4	QDA. LOS SAUCES	1,020,415.25	123,888.11	0.12	12.39	1210	1200	10	86
5	QDA. DE CHAMALUCUARA	931,328.82	80,683.37	0.08	8.07	1330	1320	10	127
6	QDA. LA PORRA 2	102,591.60	17,381.45	0.02	1.74	1510	1500	10	90
7	RÍO CALÁN	797,533.77	97,910.01	0.10	9.79	1190	1170	20	121
8	QDA. PACAYAL GRANDE	4,158,523.05	412,596.39	0.41	41.26	1140	1120	20	187
9	QDA. PACAYAL MEDIANO	1,143,605.34	183,720.21	0.18	18.37	1130	1120	10	119
10	QDA. PACAYAL PEQUEÑO	507,630.41	113,354.79	0.11	11.34	1130	1120	10	49
11	QDA. POZA DEL BANCO	209,707.46	39,521.47	0.04	3.95	1180	1170	10	42
12	QDA. LA SOLEDAD	146,123.73	21,368.77	0.02	2.14	1400	1390	10	84
13	QDA. LAS CANOAS	94,529.84	15,194.96	0.02	1.52	1370	1360	10	78
14	QDA. SISIRLITECA	89,955.67	17,337.58	0.02	1.73	1280	1270	10	37
15	RÍO GUARATORO MEDIANO	86,785.39	17,081.34	0.02	1.71	1250	1240	10	74
16	QDA. DEL RODEO	71,787.65	13,186.08	0.01	1.32	1180	1170	10	95
17	QDA. LA PORRA	62,383.92	13,183.47	0.01	1.32	1650	1640	10	75

Las primeras tres posiciones (Qda. El Rincón, Qda. Guaypís y Río Guaratoro), fueron las seleccionadas para hacer los estudios correspondientes (Anexo 2).

#### 1.4 Determinación de parámetros morfométricos de las posibles

##### microcuencas

Las características físicas que tiene una microcuenca, tienen una estrecha relación con la conducta de los afluentes que pasan por esta. Es necesario tener conocimiento de aspectos básicos de la microcuenca como ser: superficie, perímetro, elevación media, pendiente media, coeficiente de compacidad, relación circula e hipsométrica, longitud del eje y directa del río principal, coeficiente de sinuosidad hidráulico, altitud inicial y media, pendiente promedio del río principal, tiempo de concentración, índice de forma y relación elongación. Es por esto que se realizaron determinaciones sobre los parámetros

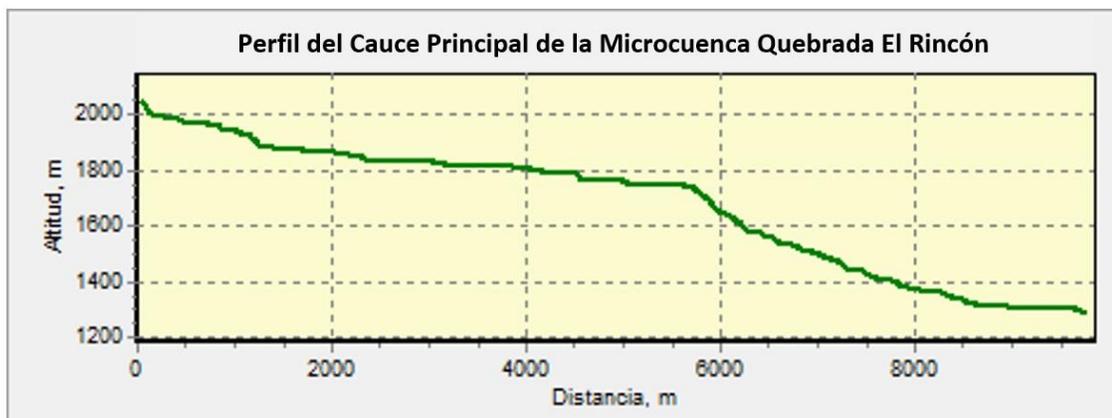
morfométricos de las posibles microcuencas, siendo estas: Quebrada El Rincón (Cuadro 10), Quebrada Guaypís (Cuadro 11) y Río Guaratoro (Cuadro 12).

A continuación, se muestran los parámetros morfométricos de la Microcuenca Quebrada El Rincón:

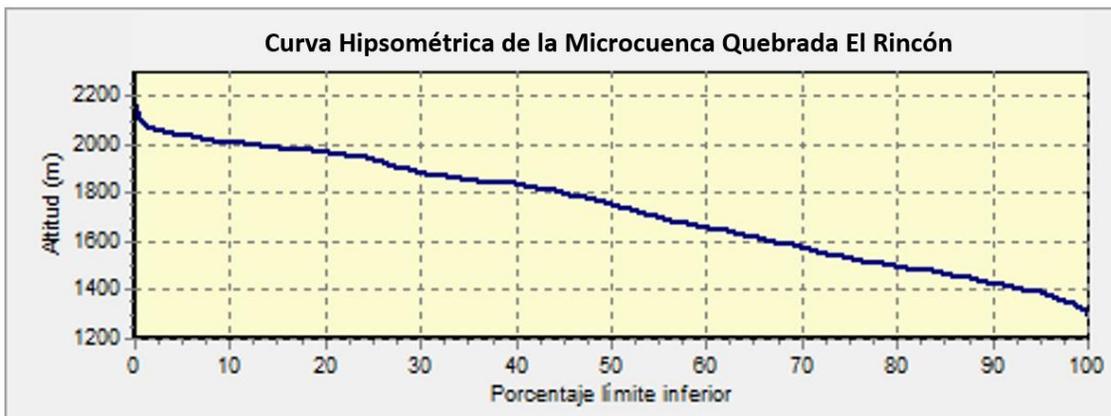
**Cuadro 10.** Parámetros morfométricos de la Microcuenca Quebrada El Rincón

Parámetro	Registro	Unidad	Descripción
<b>ClvRgn</b>	1		Microcuenca
<b>A_Km2</b>	13.84	Km <sup>2</sup>	Superficie
<b>P_Km</b>	23.10	Km	Perímetro
<b>Em_m</b>	1709.14	msnm	Elevación media
<b>Pm_g</b>	14.9	°	Pendiente media (grados)
<b>Pm_p</b>	27.24	%	Pendiente media (porcentaje)
<b>Kc</b>	2.27		Coefficiente de compacidad (Gravelius)
<b>Rci</b>	0.19		Relación circular
<b>Rh</b>	1		Relación hipsométrica
<b>Lc_km</b>	9.74	Km	Longitud del eje del río principal
<b>La_km</b>	7.43	Km	Longitud directa del río principal
<b>Sh</b>	1.31		Coefficiente de sinuosidad hidráulico
<b>Emx_m</b>	2044	msnm	Altitud inicial
<b>Emn_m</b>	1286	msnm	Altitud media
<b>Sc_p</b>	9.49	°	Pendiente promedio del río principal
<b>Tc_Kirpich_h</b>	1.02	h	Tiempo de concentración Kirpich
<b>Tc_CHPW_h</b>	1.02		Tiempo de concentración de California Highways and Public Works
<b>Rf</b>	0.25		Índice de forma (Horton)
<b>Re</b>	0.83		Relación de elongación

Además de los parámetros determinados para posible Microcuenca de la Quebrada El Rincón, se generaron productos gráficos los cuales son: Perfil del Cauce Principal (Figura 1) y la Curva Hipsométrica (Figura 2).



**Figura 1.** Perfil del Cauce Principal de la Microcuenca Quebrada El Rincón



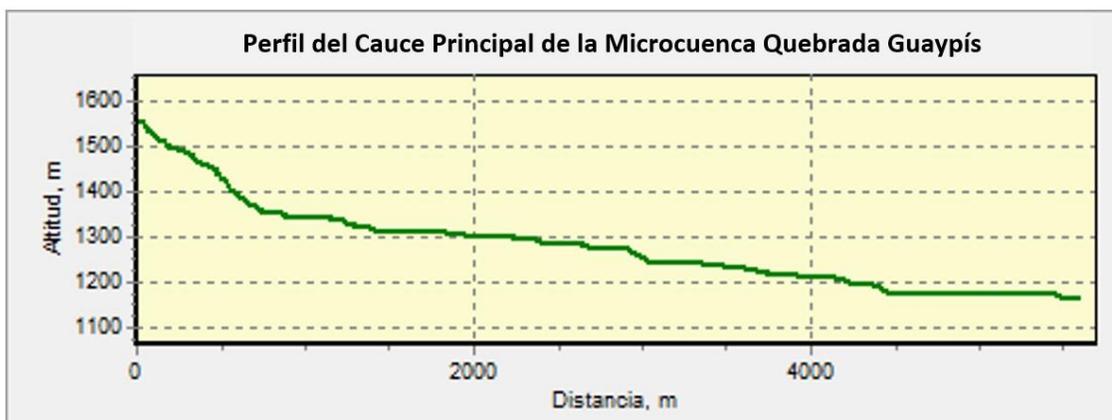
**Figura 2.** Curva Hipsométrica de la Microcuenca Quebrada El Rincón

A continuación, se muestran los parámetros morfométricos de la Microcuenca Quebrada Guaypís:

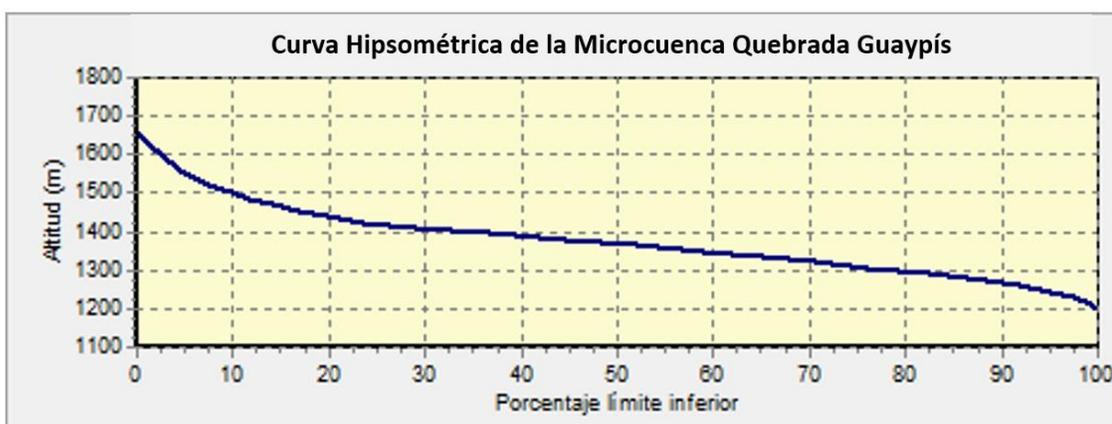
**Cuadro 11.** Parámetros morfométricos de la Microcuenca Quebrada Guaypís

Parámetro	Registro	Unidad	Descripción
<b>ClvRgn</b>	1		Microcuenca
<b>A_km2</b>	8.34	Km <sup>2</sup>	Superficie
<b>P_Km</b>	17.05	Km	Perímetro
<b>Em_m</b>	1334.99	msnm	Elevación media
<b>Pm_g</b>	15.68	°	Pendiente media (grados)
<b>Pm_p</b>	28.85	%	Pendiente media (porcentaje)
<b>Kc</b>	2.13		Coefficiente de compacidad (Gravelius)
<b>Rci</b>	0.22		Relación circular
<b>Rh</b>	1.65		Relación hipsométrica
<b>Lc_km</b>	5.59	Km	Longitud del eje del río principal
<b>La_km</b>	4.48	Km	Longitud directa del río principal
<b>Sh</b>	1.25		Coefficiente de sinuosidad hidráulico
<b>Emx_m</b>	1559	msnm	Altitud inicial
<b>Emn_m</b>	1163	msnm	Altitud media
<b>Sc_p</b>	8.75	°	Pendiente promedio del río principal
<b>Tc_Kirpich_h</b>	0.69	h	Tiempo de concentración Kirpich
<b>Tc_CHPW_h</b>	0.69		Tiempo de concentración de California Highways and Public Works
<b>Rf</b>	0.42		Índice de forma (Horton)
<b>Re</b>	0.83		Relación de elongación

Además de los parámetros determinados para posible Microcuenca de la Quebrada Guaypís, se generaron productos gráficos los cuales son: Perfil del Cauce Principal (Figura 3) y la Curva Hipsométrica (Figura 4).



**Figura 3.** Perfil del Cauce Principal de la Microcuenca Quebrada Guaypís



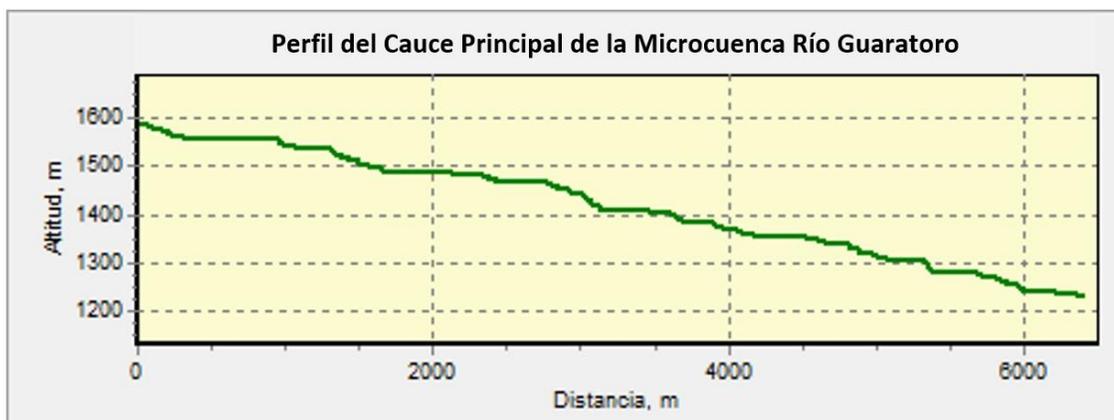
**Figura 4.** Curva Hipsométrica de la Microcuenca Quebrada Guaypís

A continuación, se muestran los parámetros morfométricos de la Microcuenca Río Guaratoro:

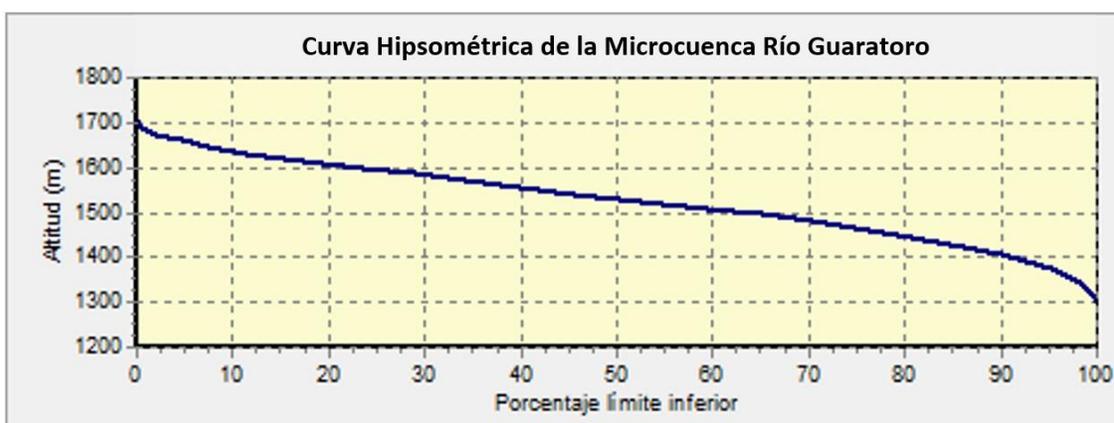
**Cuadro 12.** Parámetros morfométricos de la Microcuenca Río Guaratoro

Parámetro	Registro	Unidad	Descripción
<b>ClvRgn</b>	1		Microcuenca
<b>A_km2</b>	7.83	Km <sup>2</sup>	Superficie
<b>P_Km</b>	15.40	Km	Perímetro
<b>Em_m</b>	1455.87	msnm	Elevación media
<b>Pm_g</b>	13.81	°	Pendiente media (grados)
<b>Pm_p</b>	25.04	%	Pendiente media (porcentaje)
<b>Kc</b>	2.01		Coefficiente de compacidad (Gravelius)
<b>Rci</b>	0.25		Relación circular
<b>Rh</b>	0.79		Relación hipsométrica
<b>Lc_km</b>	6.4	Km	Longitud del eje del río principal
<b>La_km</b>	4.03	Km	Longitud directa del río principal
<b>Sh</b>	1.59		Coefficiente de sinuosidad hidráulico
<b>Emx_m</b>	1590	msnm	Altitud inicial
<b>Emn_m</b>	1232	msnm	Altitud media
<b>Sc_p</b>	7.09	°	Pendiente promedio del río principal
<b>Tc_Kirpich</b>	0.84		Tiempo de concentración Kirpich
<b>Tc_CHPW_h</b>	0.84		Tiempo de concentración de California Highways and Public Works
<b>Rf</b>	0.48		Índice de forma (Horton)
<b>Re</b>	0.81		Relación de elongación

Además de los parámetros determinados para posible Microcuenca del Río Guaratoro, se generaron productos gráficos los cuales son: Perfil del Cauce Principal (Figura 5) y la Curva Hipsométrica (Figura 6).



**Figura 5.** Perfil del Cauze Principal de la Microcuenca Río Guaratoro



**Figura 6.** Curva Hipsométrica de la Microcuenca Río Guaratoro

### 1.5 Determinación de uso actual del suelo y conflictos de uso del suelo en las tres áreas seleccionadas para el establecimiento de represas

Se elaboraron los respectivos mapas del uso del suelo de las Microcuencas: Quebrada El Rincón (Anexo 3), Quebrada Guaypís (Anexo 4) y Río Guaratoro (Anexo 5), cuyas áreas según las respectivas clases de uso, se muestran en los cuadros siguientes:

**Cuadro 13.** Clases de Uso del Suelo de la Microcuenca Quebrada El Rincón

<b>USO</b>	<b>ÁREA (ha)</b>
AGRICULTURA	50.86
BOSQUE DE PINO DENSO	615.25
CAFE	312.43
CARRETERA	53.23
MATORRAL	350.50
POBLADOS	2.03
<b>TOTAL</b>	<b>1,384.30</b>

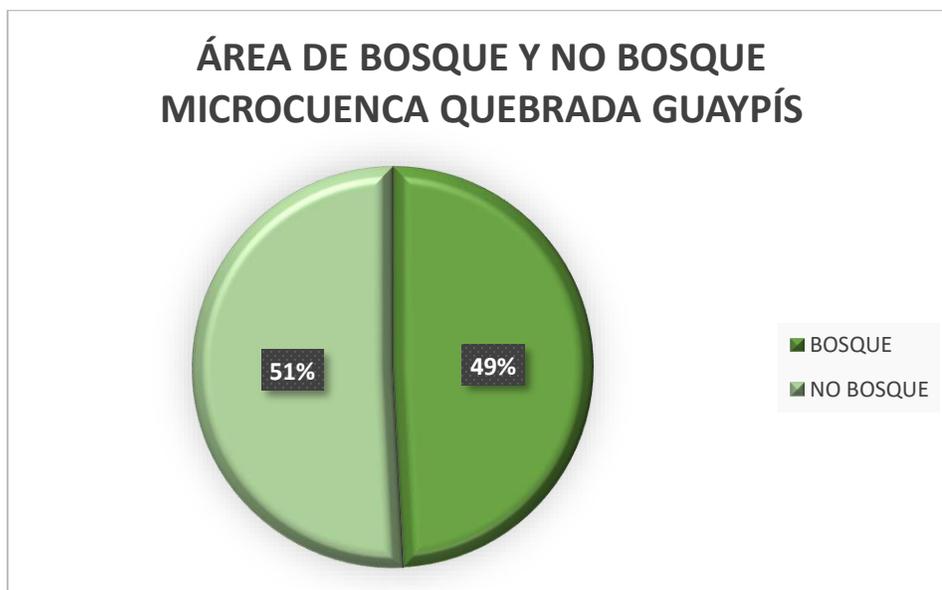
La información obtenida sobre el uso actual del suelo de la microcuenca Quebrada el Rincón, de las áreas de bosque y no bosque (Figura 7), se muestra en el grafico siguiente:

**Figura 7.** Área de Bosque y No Bosque Microcuenca Quebrada El Rincón

**Cuadro 14.** Clases de Uso del Suelo de la Microcuenca Quebrada Guaypís

<b>USO</b>	<b>ÁREA (ha)</b>
AGRICULTURA	129.47
BOSQUE DE PINO DENSO	161.13
BOSQUE DE PINO RALO	249.08
CAFE	37.12
CARRETERA	24.09
MATORRAL	80.09
PASTO	146.34
POBLADOS	3.45
SUELO DESNUDO	3.35
<b>TOTAL</b>	<b>834.12</b>

La información obtenida sobre el uso actual del suelo de la microcuenca Quebrada Guaypís, de las áreas de bosque y no bosque (Figura 8), se muestra en el grafico siguiente:

**Figura 8.** Área de Bosque y No Bosque Microcuenca Quebrada Guaypís

**Cuadro 15.** Clases de Uso del Suelo de la Microcuenca Río Guaratoro

<b>USO</b>	<b>ÁREA (ha)</b>
AGRICULTURA	87.05
BOSQUE DE PINO DENSO	304.66
BOSQUE DE PINO RALO	111.63
CAFE	34.85
CARRETERA	4.85
MATORRAL	138.84
PASTO	98.21
POBLADOS	2.39
SUELO DESNUDO	0.46
<b>TOTAL</b>	<b>782.94</b>

La información obtenida sobre el uso actual del suelo de la microcuenca Río Guaratoro, de las áreas de bosque y no bosque (Figura 9), se muestra en el grafico siguiente:

**Figura 9.** Área de Bosque y No Bosque Microcuenca Río Guaratoro

Por medio de la identificación del uso actual del suelo y una matriz de comparación, se realizó una contraposición en donde se determinó que sitios se encontraban en conflicto de uso, este proceso se realizó en cada una de las áreas de interés: Quebrada El Rincón (Anexo 6), Quebrada Guaypís (Anexo 7) y Río Guaratoro (Anexo 8), cuyas áreas según los respectivos conflictos de uso, se muestran en los cuadros siguientes:

**Cuadro 16.** Conflictos de Uso del Suelo de la Microcuenca Quebrada El Rincón

<b>CONFLICTOS</b>	<b>ÁREA (ha)</b>
ADECUADO	670.51
SOBREUSO	363.30
SUBUSO	350.49
<b>TOTAL</b>	<b>1,384.30</b>

La información obtenida sobre los conflictos de uso del suelo de la microcuenca Quebrada El Rincón (Figura 10), se muestra en el gráfico siguiente:

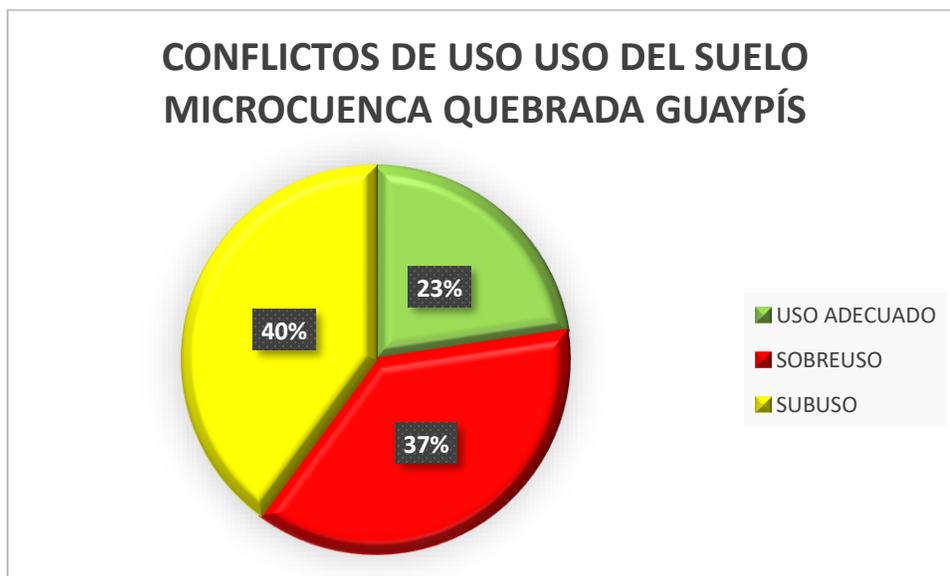


**Figura 10.** Conflictos de uso del suelo Microcuenca Quebrada El Rincón

**Cuadro 17.** Conflictos de Uso del Suelo de la Microcuenca Quebrada Guaypís

<b>CONFLICTOS</b>	<b>ÁREA (ha)</b>
ADECUADO	188.66
SOBREUSO	312.93
SUBUSO	332.53
<b>TOTAL</b>	<b>834.12</b>

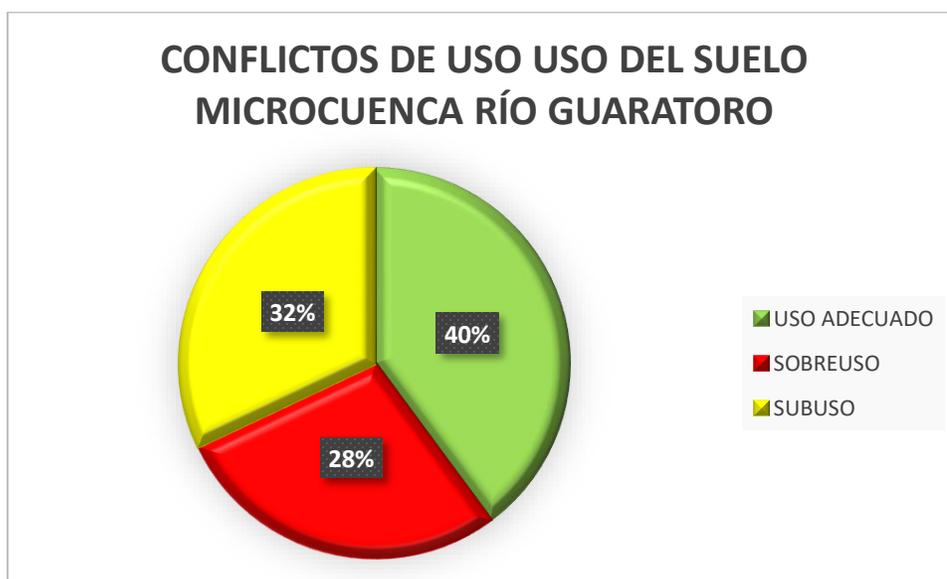
La información obtenida sobre los conflictos de uso del suelo de la microcuenca Quebrada Guaypís (Figura 11), se muestra en el grafico siguiente:

**Figura 11.** Conflictos de uso del suelo Microcuenca Quebrada Guaypís

**Cuadro 18.** Conflictos de Uso del Suelo de la Microcuenca Río Guaratoro

<b>CONFLICTOS</b>	<b>ÁREA (ha)</b>
ADECUADO	311.88
SOBREUSO	220.13
SUBUSO	250.93
<b>TOTAL</b>	<b>782.94</b>

La información obtenida sobre los conflictos de uso del suelo de la microcuenca Río Guaratoro (Figura 12), se muestra en el gráfico siguiente:

**Figura 12.** Conflictos de uso del suelo Microcuenca Río Guaratoro

### 1.5.1 Precisión del mapa de uso actual del suelo

La precisión de los mapas realizados del uso actual del suelo para las áreas de interés: Quebrada El Rincón (Anexo 9), Quebrada Guaypís (Anexo 10) y Río Guaratoro (Anexo 11), se realizó mediante una validación de la precisión del modelo de clasificación, por medio del 20% de las muestras obtenidas, las

cuales no participaron en el proceso de clasificación. Este proceso se realizó para confirmar la exactitud de los mapas obtenidos.

### **1.6 Análisis de propiedades físicas del suelo de las tres áreas seleccionadas para el establecimiento de represas**

Las propiedades físicas del suelo fueron analizadas en laboratorio, en donde se obtuvieron resultados para cada una de las áreas de interés: Quebrada El Rincón, Quebrada Guaypís y Río Guaratoro (Anexo 12). Los análisis se basaron en resultados de:

- a) Gravedad específica
- b) Índice de Plasticidad
- c) Clasificación del Suelo
- d) Permeabilidad

La permeabilidad se determinó mediante los resultados de laboratorio y la tabla de Permeabilidad del Suelo y Aplicabilidad de los Ensayos de Perme Coeficiente de Permeabilidad (cm/s) (Anexo13).

Se obtuvieron resultados de la granulometría (% contenido de las partículas), así como del tipo de suelo de cada uno de los horizontes y datos generales del suelo, de cada una de las áreas de interés:

- a) Quebrada el Rincón, horizonte A (Anexo 14) y horizonte B (Anexo 15)
- b) Quebrada Guaypís, horizonte A (Anexo 16) y horizonte B (Anexo 17)
- c) Río Guaratoro, horizonte A (Anexo 18) y horizonte B (Anexo 19)

La determinación del color del suelo se hizo a las muestras obtenidas de cada horizonte de las calicatas realizadas, en estado seco y húmedo (Cuadro 19), se catalogaron de acuerdo a clasificación de la Tabla Munsell. A continuación, se muestran los resultados obtenidos:

**Cuadro 19.** Determinación del color del suelo en seco y húmedo

Área	Horizonte	Estado de muestra	Clasificación	Color
Qda. El Rincón	A	Húmeda	7.5 YR 3/3	Marrón oscuro
	B	Húmeda	5 YR 5/6	Rojo amarillento
	A	Seca	10 YR 5/3	Marrón
	B	Seca	7.5 YR 5/6	Marrón fuerte
Qda. Guaypís	A	Húmeda	7.5 YR 4/2	Marrón
	B	Húmeda	5 Y 8/1	Blanco
	A	Seca	10 YR 5/4	Marrón amarillento
	B	Seca	5 Y 8/1	Blanco
Río Guaratoro	A	Húmeda	2.5 Y 2.5/1	Negro
	B	Húmeda	10 YR 6/3	Marrón pálido
	A	Seca	7.5 YR 5/2	Marrón
	B	Seca	10 YR 8/2	Marrón muy pálido

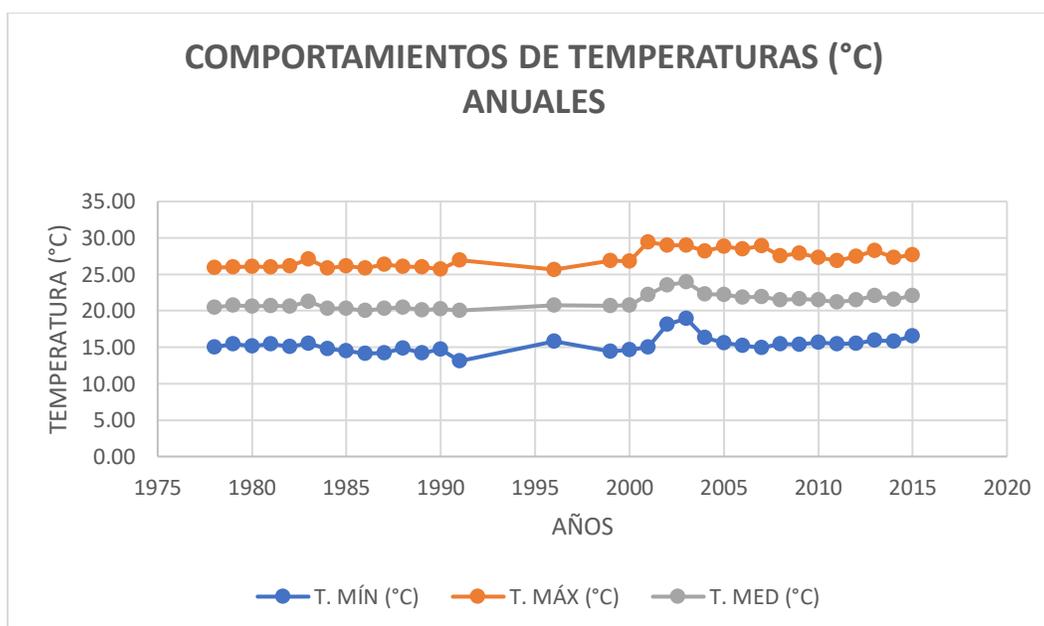
### 1.7 Análisis de calidad del agua en las tres áreas para el establecimiento de represas

Los análisis de calidad del agua son un punto esencial de la investigación, ya que al obtener los resultados se tiene una visión clara de los tratamientos que necesita cada una de estas fuentes, para poder ser distribuida a la población del municipio, teniendo como finalidad el ofrecer agua de calidad. Se realizó una determinación de orgánicos para cada una de las tres áreas de interés: quebrada El Rincón (Anexo 20), quebrada Guaypís (Anexo 21) y Río Guaratoro (Anexo 22).

De igual forma se realizaron análisis sobre determinación física y microbiológica a las tres fuentes de agua en estudio, quebrada El Rincón (Anexo 23), quebrada Guaypís (Anexo 24) y Río Guaratoro (Anexo 25).

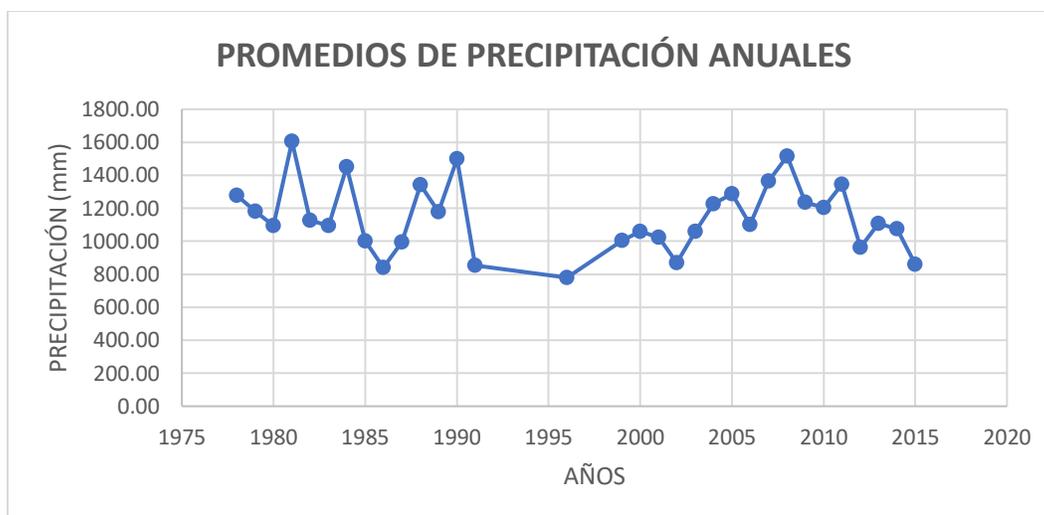
### 1.8 Análisis estadístico de datos meteorológicos

Es importante conocer el comportamiento de los parámetros meteorológicos ya que estos tienen una influencia directa en el desarrollo fluvial, es por este motivo que se realizaron análisis estadísticos sobre las temperaturas (Figura 13) y precipitaciones (Figura 14) del municipio de Siguatepeque, en base a 32 años de registros llevados por la Estación meteorológica ESNACIFOR.



**Figura 13.** Comportamientos de temperaturas anuales

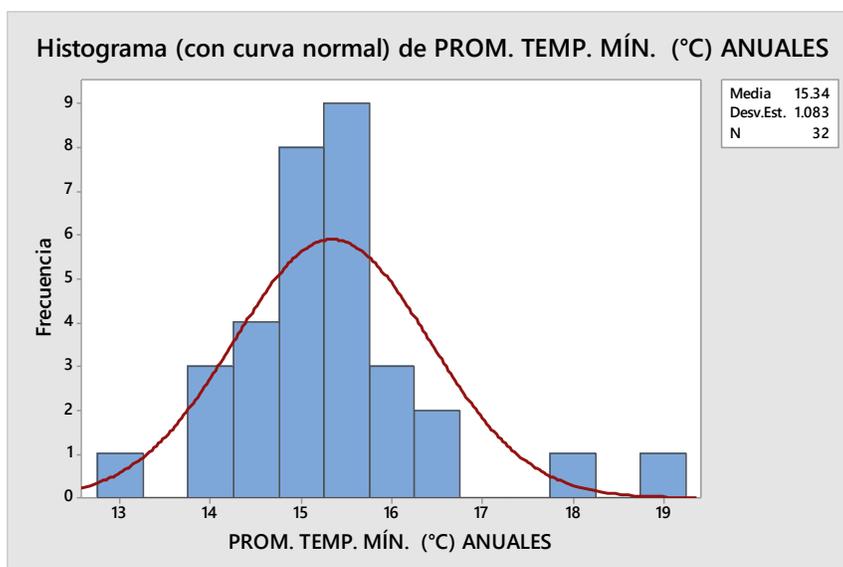
**Fuente:** Elaboración propia con datos meteorológicos de la Estación ESNACIFOR



**Figura 14.** Comportamiento de precipitaciones anuales

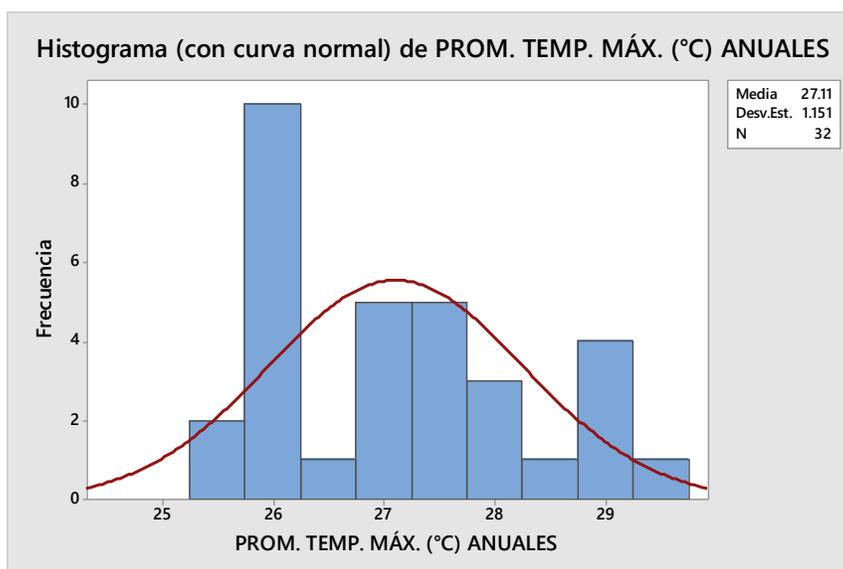
**Fuente:** Elaboración propia con datos meteorológicos de la Estación ESNACIFOR

Se realizaron análisis estadísticos de las temperaturas anuales y precipitaciones (Anexo 26), así como un histograma para las temperaturas mínimas (Figura 15), máximas (Figura 16) y medias (Figura 17). De igual forma para las precipitaciones promedios anuales se realizó el histograma correspondiente (Figura 18).



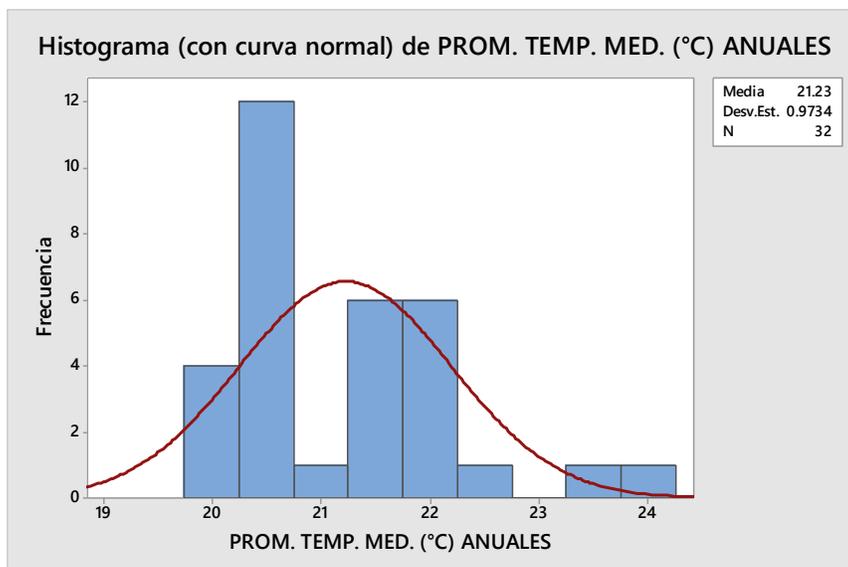
**Figura 15.** Histograma de temperaturas mínimas anuales

**Fuente:** Elaboración propia con datos meteorológicos de la Estación ESNACIFOR



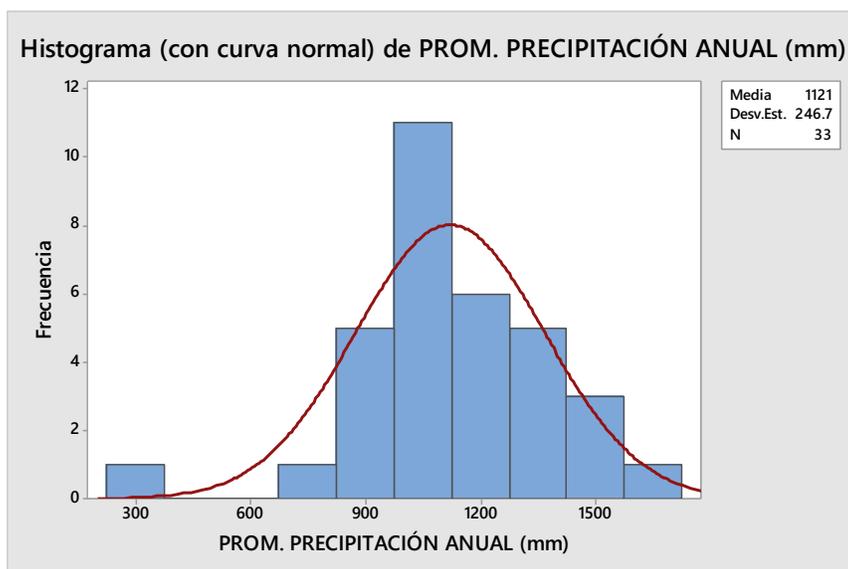
**Figura 16.** Histograma de temperaturas máximas anuales

**Fuente:** Elaboración propia con datos meteorológicos de la Estación ESNACIFOR



**Figura 17.** Histograma de temperaturas medias anuales

**Fuente:** Elaboración propia con datos meteorológicos de la Estación ESNACIFOR



**Figura 18.** Histograma de precipitaciones promedio anuales

**Fuente:** Elaboración propia con datos meteorológicos de la Estación ESNACIFOR

### 1.8.1 Cálculo del caudal por el método racional

La aplicación del método racional permite tener un panorama de lo que podría ser una realidad futura, en cuanto al comportamiento del retorno de un caudal a un intervalo de años dado, este cálculo se realizó para cada microcuenca en estudio: Quebrada El Rincón (Cuadro 21), Quebrada Guaypís (Cuadro 23) y Río Guaratoro (Cuadro 25).

Se requirió de un valor del coeficiente de escorrentía, el cual se estableció en base a las características de la cobertura vegetal de la microcuenca, pendiente promedio de la microcuenca y de la permeabilidad del suelo de las áreas de estudio y la intensidad de precipitación (mm/h) correspondiente a cada área según el Tiempo de concentración Kirpich.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos para la Microcuenca Quebrada el Rincón:

**Cuadro 20.** Intensidad Probable (mm/h) Microcuenca Quebrada El Rincón

Tiempo de concentración (h)	Tiempo de Retorno (Años)	Intensidad Probable (mm/h)
1.02	2	35.8
	5	50.4
	10	61.5
	25	76.1
	50	87.1
	100	98.2

De acuerdo a las características de vegetación, permeabilidad y pendiente de la microcuenca, se utilizó un coeficiente de escorrentía de 0.40.

Al aplicar la fórmula de Caudal se generaron los siguientes resultados:

**Cuadro 21.** Caudal (Q) Método Racional de la Microcuenca Quebrada El Rincón

Tiempo de Retorno (Años)	Q Caudal (m <sup>3</sup> /s)
2	55.14
5	77.62
10	94.63
25	117.11
50	134.12
100	151.12

A continuación, se muestran los resultados obtenidos para la Microcuenca Quebrada el Guaypís:

**Cuadro 22.** Intensidad Probable (mm/h) Microcuenca Quebrada Guaypís

Tiempo de concentración (h)	Tiempo de Retorno (Años)	Intensidad Probable (mm/h)
0.69	2	44.4
	5	62.4
	10	76.1
	25	94.2
	50	107.9
	100	121.6

De acuerdo a las características de vegetación, permeabilidad y pendiente de la microcuenca, se utilizó un coeficiente de escorrentía de 0.40.

Al aplicar la fórmula de Caudal se generaron los siguientes resultados:

**Cuadro 23.** Caudal (Q) Método Racional de la Microcuenca Quebrada Guaypís

Tiempo de Retorno (Años)	Q Caudal (m <sup>3</sup> /s)
2	41.14
5	57.91
10	70.59
25	87.36
50	100.05
100	112.73

A continuación, se muestran los resultados obtenidos para la Microcuenca Río Guaratoro:

**Cuadro 24.** Intensidad Probable (mm/h) Microcuenca Río Guaratoro

Tiempo de concentración (h)	Tiempo de Retorno (Años)	Intensidad Probable (mm/h)
<b>0.84</b>	2	39.7
	5	55.9
	10	68.1
	25	84.3
	50	96.5
	100	108.7

De acuerdo a las características de vegetación, permeabilidad y pendiente de la microcuenca, se utilizó un coeficiente de escorrentía de 0.50.

Al aplicar la fórmula de Caudal se generaron los siguientes resultados:

**Cuadro 25.** Caudal (Q) Método Racional de la Microcuenca Río Guaratoro

Tiempo de Retorno (Años)	Q Caudal (m <sup>3</sup> /s)
2	43.18
5	60.79
10	74.10
25	91.71
50	105.03
100	118.34

### 1.9 Otros mapas de importancia en el estudio

La investigación fue realizada en el municipio de Siguatepeque, por lo tanto, es imprescindible contar con el respectivo mapa de ubicación, que permita el mejor entendimiento de los límites del municipio (Anexo 27). Se hizo un importante uso de la red hidrológica que se encuentra dentro del municipio (Anexo 28), para la elección de las áreas de interés.

Además, se realizó el mapa de pendientes de los límites del municipio (Anexo 29), así como de los límites del casco urbano de la ciudad de Siguatepeque (Anexo 30). Se elaboró el mapa geológico (Anexo 31) y de suelos (Anexo 32) del municipio de Siguatepeque.

## 2 COMENTARIOS

Los análisis y procedimientos realizados con el propósito de cumplir con los objetivos propuestos, para la investigación de identificación de áreas para la ubicación de represas para captura de agua de escorrentía, utilizando un Modelo Digital de Elevación (MDE) incluyendo variables edáficas e hidrológicas, demuestran que la información obtenida y procesada es de buena calidad, ya que, lo que se logró identificar a nivel de oficina se inspecciono en campo y se comprobó que las apreciaciones realizadas en oficina eran correctas, esto permite aclarar el panorama de donde es recomendable establecer dichas represas.

Es importante la interpretación que se le dé a los datos obtenidos, así como la aplicación de la metodología propuesta en la investigación, para la identificación de áreas para la ubicación de represas para captura de agua de escorrentía.

La implementación de este tipo de represas contribuye además en la protección de los suelos, ya que la escorrentía que fluye libremente puede ser capturada y utilizada para fines productivos y de consumo.

La investigación realizada es un insumo de alto valor para ser aplicado en el municipio de Siguatepeque y con ello contribuir a la mitigación de la exigencia actual y futura de la oferta del recurso hídrico, sin olvidar las medidas de tratamiento específicas para que el recurso hídrico distribuido a la población sea de calidad.

## **CAPÍTULO 4**

### **1 CONCLUSIONES**

Es posible realizar la identificación de áreas para la ubicación de represas para captura de agua de escorrentía, utilizando como base un Modelo Digital de Elevación (MDE) en combinación con variables edáficas e hidrológicas. Además de esto es un método que ahorra recursos tanto económicos como de tiempo.

La determinación del cálculo de dimensiones en ancho, altura, área inundable y capacidad de volumen a retener de las represas a construir, se pueden realizar de manera precisa, eficaz y rápidamente, haciendo uso de herramientas especializadas de sistemas de información geográfica (SIG).

De las diecisiete áreas identificadas se priorizaron las tres que ofrecen las mejores condiciones para la captura, almacenamiento y distribución del agua en donde se realizaron análisis más profundos presentados en esta investigación.

La determinación de los parámetros morfométricos de las tres áreas seleccionadas, muestran los datos generales de cada una de las microcuencas, así como los Tiempos de Concentración ( $T_c$ ).

En la determinación del uso actual del suelo en la Microcuenca Quebrada El Rincón existe un 44% de área de bosque y un 56% de área de no bosque siendo el café (312.43 ha) el cultivo de mayor extensión; en la Microcuenca Quebrada Guaypís existe un 49% de área de bosque y un 51% de área de no bosque siendo la agricultura (129.47 ha) el cultivo de mayor extensión; y en Microcuenca

Río Guaratoro existe un 53% de área de bosque y un 47% de área de no bosque siendo el pasto (98.21 ha) el cultivo de mayor extensión.

En los conflictos de uso actual del suelo según la capacidad de uso que posee el suelo; en la Microcuenca Quebrada El Rincón existe un 49% de uso adecuado, 26% de sobreuso y 25% de subuso; en la Microcuenca Quebrada Guaypís existe un 23% de uso adecuado, 37% de sobreuso y 40% de subuso; y en la Microcuenca Río Guaratoro existe un 40% de uso adecuado, 28% de sobreuso y 32% de subuso.

Según los análisis de laboratorio de las muestras de suelo obtenidas en las tres seleccionadas, se observa que el área de las Microcuencas Quebrada Guaypís y Río Guaratoro, presentan una mayor cantidad de partículas de arena, por lo tanto, los poros son de mayor tamaño que en el caso de la Quebrada el Rincón.

Los análisis de calidad de agua realizados en las tres áreas de interés, muestran que no se detectó ningún tipo de orgánico, sin embargo, si se detectó la presencia de coliformes totales y fecales en las tres áreas. El agua en la Quebrada El Rincón y el Río Guaratoro es considerada muy blanda (bajos niveles de calcio, magnesio y dureza) y en la quebrada Guaypís semidura (niveles medios de calcio, magnesio y dureza).

Los datos obtenidos del cálculo de caudal máximo para las áreas de interés, son fundamentales ya que esto permite definir los valores de caudal a esperar en un Tiempo de Retorno ( $T_r$ ) específico.

## 2 RECOMENDACIONES

Los conflictos de uso de acuerdo a la capacidad de uso del suelo de las áreas de interés, deben ser analizados y se recomienda implementar estrategias que ayuden a disminuir los conflictos existentes en cada área.

Al momento de realizar la construcción de las represas en las áreas identificadas, es necesario realizar una limpieza total de la vegetación y materia orgánica superficial que se encuentre en las áreas de los embalses, para aprovechar al máximo el área total del embalse para un mayor almacenamiento del agua capturada.

Es conveniente sellar los poros del suelo de acuerdo a la necesidad que se observe al momento de realizar la limpieza total de la vegetación y materia orgánica superficial de las tres áreas identificadas, se recomienda que el sellamiento se realice con suelo arcilloso mediante la aplicación de una capa de un espesor de 15 cm, posterior a esto realizar la compactación de esta capa de suelo; esto con el fin de acelerar el proceso de sellamiento de los poros del suelo y evitar que exista una infiltración del agua capturada y almacenada. De ser posible y si la economía lo permite, otra alternativa para evitar la infiltración del agua es el uso de una membrana sintética.

Según los resultados obtenidos de los análisis de calidad de agua se observan algunos parámetros no adecuados, a los cuales se les debe prestar atención ya que, el agua que se distribuya a la población debe ser de calidad. Se deben

aplicar los tratamientos necesarios para que el agua sea apta para el consumo humano.

Se debe prestar mayor atención a la calidad de agua del Río Guaratoro, ya que se detectaron niveles altos de cadmio, un elemento tóxico para la salud de los seres vivos. Es recomendable buscar el asesoramiento de un organismo dedicado a solucionar problemas de calidad de agua.

Se recomienda en las tres áreas de interés la identificación del problema principal que contribuye a la contaminación del agua, especialmente por coliformes totales y fecales.

Es recomendable difundir los resultados obtenidos en la investigación a nivel municipal y departamental.

Búsqueda de alternativas de sostenibilidad para el manejo y administración de proyectos de cosechas de agua provenientes de la escorrentía.

### 3 BIBLIOGRAFÍA

- Blanquer, J. M. G., Asensio, S. I., & Ramón, H. M. (2010). *La textura del suelo*. Valencia, España.
- Clavijo, L., & Pérez, C. (2016). *Cálculo del caudal de creciente en la Quebrada Canoas hasta su desembocadura en la Quebrada Tapias, municipio de Cuitiva, departamento de Boyacá* Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia.
- Conference, W. E. (2013). *Energy Terminology: A Multi-Lingual Glossary*. London, England: Elsevier Science.
- Connor, R. (2015). The United Nations world water development report 2015: water for a sustainable world (Vol. 1, pp. 8). Perugia, Italia UNESCO Publishing.
- Consorcio Fichtner Water & Transportation, GOPA, & GATESA. (2009). *Elaboración, Revisión y Actualización de Planes Maestros para el Mejoramiento de los Servicios de Agua y Saneamiento en Ocho Ciudades* (pp. 101). Tegucigalpa, Honduras
- COPECO. (2014). *Plan Municipal de Gestión de Riesgos Comunitario y Plan de Zonificación Comunitario, Siguatepeque, Departamento de Comayagua*. Honduras.
- Cruz, A. C. P., & Martínez, P. C. C. (2015). El recurso agua en el entorno de las ciudades sustentables. *CULCyT*(31).

- de Lázaro, M. L., & González, M. J. G. (2014). La utilidad de los Sistemas de Información Geográfica para la enseñanza de la Geografía. *Bienvenidos(7)*, 106-122.
- FAO. (2009). Guía para la descripción de suelos (pp. 111). Roma, Italia: Jefe del Servicio de Publicaciones. División de Información. FAO.
- FAO. (2013a). Afrontar la escasez de agua, Un marco de acción para la agricultura y la seguridad alimentaria (pp. 97). Roma, Italia.
- FAO. (2013b). *CAPTACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE AGUA DE LLUVIA Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe*. Santiago, Chile: Maval Ltda.
- Faustino, J., & Jiménez, F. (2000). *Manejo de Cuencas Hidrográficas*. Turrialba, Costa Rica: Bib. Orton IICA / CATIE.
- Fernandez, M. B. C., Robles, J. L. G., Yelamos, J. G., & Rodríguez, M. P. (2014). *Geología*. Madrid, España: Paraninfo.
- Fuentes, J. d. J. (2004). ANÁLISIS MORFOMÉTRICO DE CUENCAS: CASO DE ESTUDIO DEL PARQUE NACIONAL PICO DE TANCÍTARO (pp. 47). México.
- García, M., Infante, C., & López, L. (2012). Biodegradación de un crudo mediano en suelos de diferente textura con y sin agente estructurante. *Bioagro*, 24(2), 93-102.
- Geólogos del Mundo. (2010). PROGRAMA PARA LA REGENERACIÓN MEDIOAMBIENTAL DEL LAGO DE YOJOA (pp. 72). Honduras.

Geólogos del Mundo, ASIDE, ECOREDES, ESNACIFOR, & Municipalidad de Siguatepeque. (2010). GESTIÓN INTEGRAL DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE EN EL MUNICIPIO DE SIGUATEPEQUE, DEPARTAMENTO DE COMAYAGUA, HONDURAS.

(pp. 115). Honduras.

González-Márquez, L. C., & Hansen, A. M. (2009). Adsorción y mineralización de atrazina y relación con parámetros de suelos del DR 063 Guasave, Sinaloa. *Revista mexicana de ciencias geológicas*, 26(3), 587-599.

Guerrero, M. (2012). *El agua*. México: Fondo de Cultura Económica.

Guzmán, B. L., Nava, G., & Díaz, P. (2015). La calidad del agua para consumo humano y su asociación con la morbimortalidad en Colombia, 2008-2012. *Biomédica*, 35(spe), 177-190.

Hernández, A., Serrano, J. B. r., Planes, F. M., Rodríguez, A. C., García, M. O. A., Paredes, J. D. G. a., . . . González, O. N. j. (2010). Fundamentos de la estructura de suelos tropicales. *Publicado en formato digital por la Universidad Autónoma de Nayarit, México. ISBN, 978-607*.

Hernández, R. G., Rodríguez, E. M., Jiménez, A. A., & Pimentel, O. G. (2015). *Cuencas de México*. Veracruz, México.

IMFIA. (2010). SISTEMA HIDROLOGICO (pp. 19). Montevideo, Uruguay.

INE. (2013). DEPARTAMENTOS Y MUNICIPIOS. from Plublicaciones INE <http://www.ine.gob.hn/index.php/component/content/article?id=103>

INEGI. (2007). Modelos Digitales de Elevación (MDE) México.

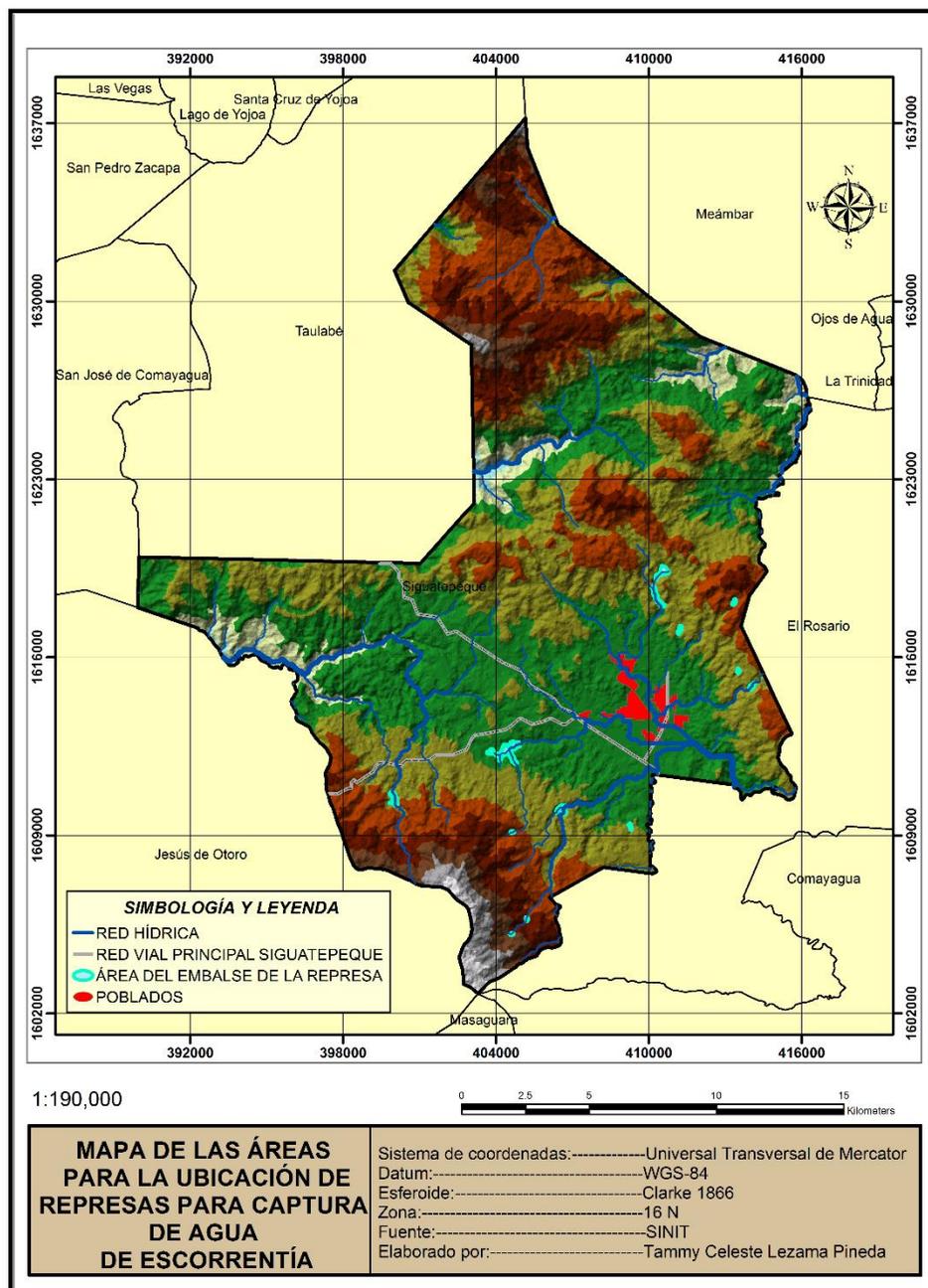
- Jardí, M. (1985). Forma de una cuenca de drenaje. Análisis de las variables morfométricas que nos la definen. *Revista de Geografía*, 19, 41-68.
- Laguna, M. (2016). Declaran emergencia en Siguatepeque por escasez de agua *La Prensa*. Retrieved from <http://www.latribuna.hn/2017/02/28/aguas-subterranas-enfrentaran-sequia-del-verano-siguatepeque/>
- Lazo, O. R. (2014). Sistemas de Información Geográfica. *Industrial Data*, 2(2), 65-68.
- Ley Visión de País y Plan de Nación. (2010). *República de Honduras Visión de País 2010-2038 y Plan de Nación 2010-2022 Honduras*.
- Lux, B. (2016). *Conceptos básicos de Morfometría de Cuencas Hidrográficas*. (Maestría), Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Macías, F. V. (2016). Introducción a los sistemas de información geográfica. *Revista Facultad de Ingeniería*(12), 121-125.
- Máximo, V. B. (2002). Hidrología *Instituto tecnológico de Costa Rica. Segunda Edición. Editorial Villón* (pp. 217). Costa Rica.
- Miralles, J. M. (1991). *La teledetección en el seguimiento de los fenómenos naturales. Recursos renovables: agricultura*. Valencia: Universidad de Valencia, Unidad de Teledetección, Departamento de Termodinámica.
- Olaya, V. (2009). Sistemas de información geográfica. *Cuadernos Internacionales de Tecnología para el Desarrollo Humano, 2009, núm. 8*.
- ONU. (2014). Calidad del Agua.

- Ordoñez, J. (2011). ¿Qué es cuenca hidrológica? In Z. Novoa (Ed.), (Primera ed., pp. 44). Lima, Perú.
- Orozco, C. G., & Bocco, G. (2012). *Cambios de uso del suelo en la meseta purépecha (1976-2005)*. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- PROMOSAS (Proyecto de Modernización del Sector Agua Potable y Saneamiento). (2016). *Plan de Inversión en Infraestructura de Agua Potable para Aguas de Siguatepeque*  
Siguatepeque, Honduras.
- Rascon, M., & Jiménez, A. (2005). *Principios de Hidrogeografía. Estudio Del Ciclo Hidrológico* (Vol. 1). México: Unam.
- Rivera , O. M., Vargas , T. B., & Ciro, L. L. (2007). Aplicación de técnicas geoestadísticas en la hidrogeología del Bajo Cauca antioqueño. *Dyna*, 74(152), 137-149.
- Rodríguez, J. (2010). Contaminación del agua. *Contaminación ambiental en Colombia*, 255-300.
- SOPTRAVI (Secretaría de Obras Públicas Transporte y Vivienda de Honduras). (1996). *MANUAL DE CARRETERAS DRENAJE Y PUENTES* (pp. 560). Honduras.
- Villagrán, S. E. (2015). VII. Sistemas de captación y uso integral del agua *Autogestión productiva y sustentabilidad agraria* (pp. 177). Méxo, México.

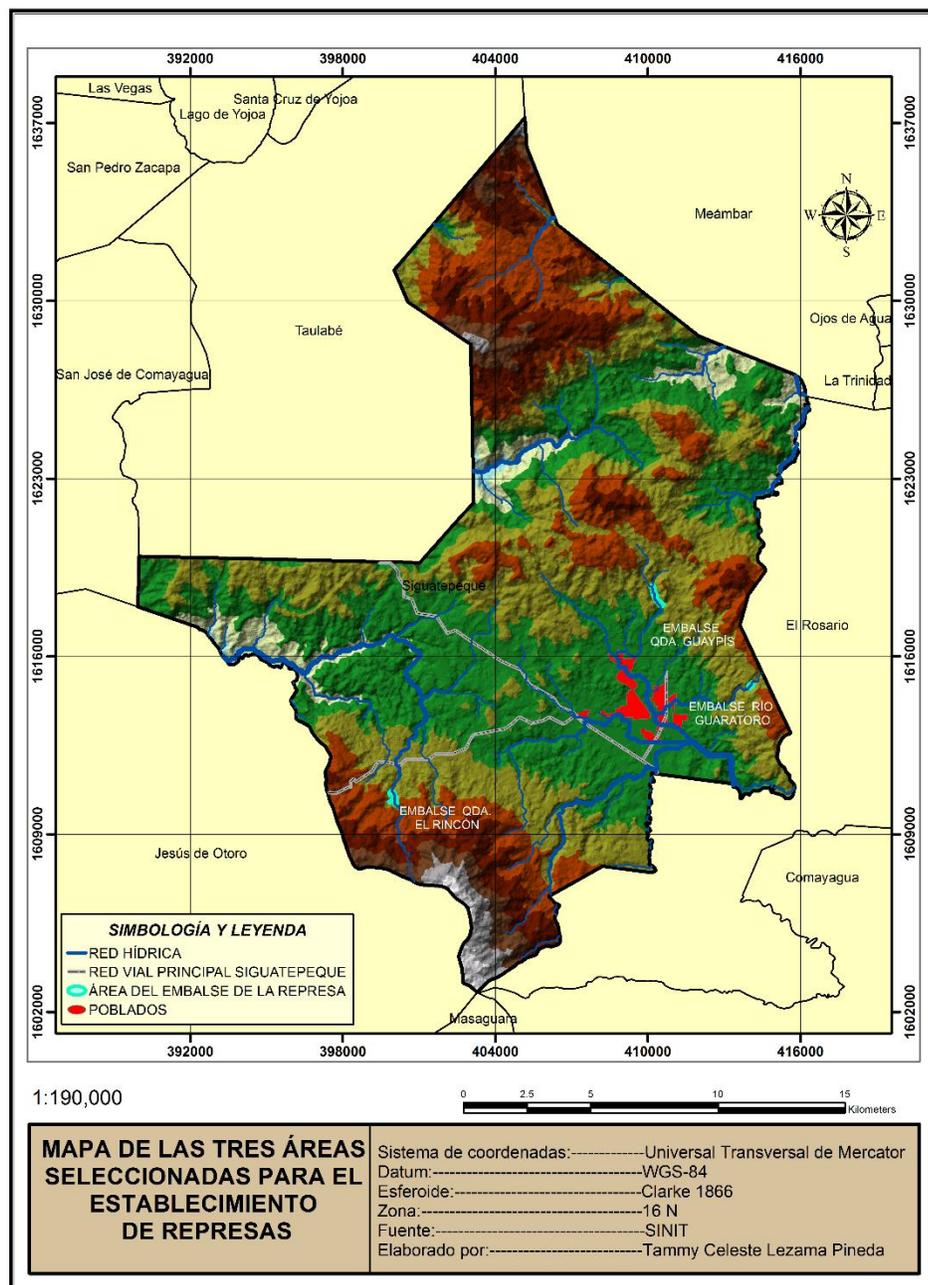
WWAP. (2016). Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo 2016 : Agua y Empleo (pp. 164). París, Francia.

## 4 ANEXOS

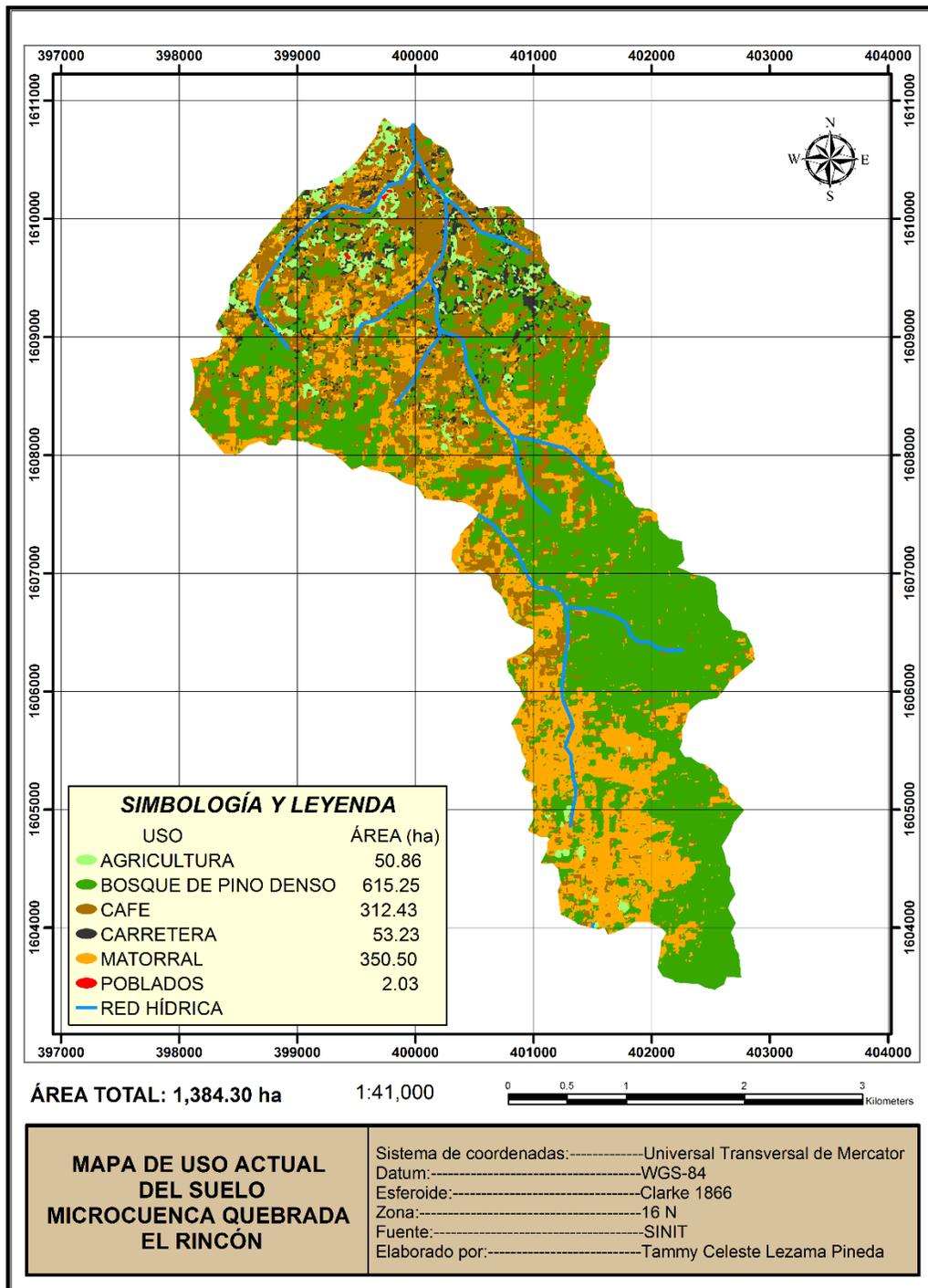
**Anexo 1.** Mapa de las áreas para la ubicación de represas de captura de agua de escorrentía



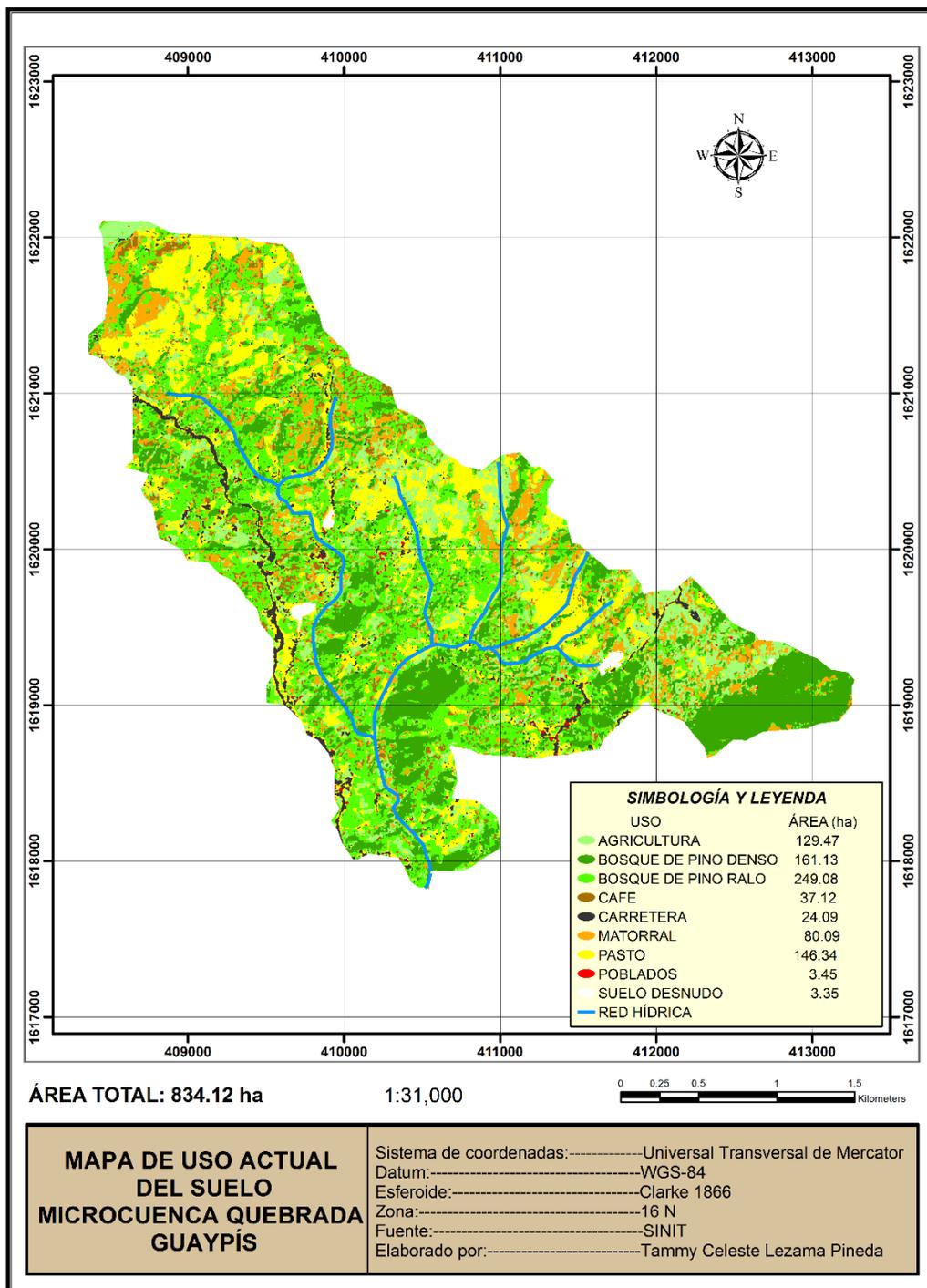
**Anexo 2.** Mapa de las tres áreas seleccionadas para el establecimiento de represas de captura de agua de escorrentía



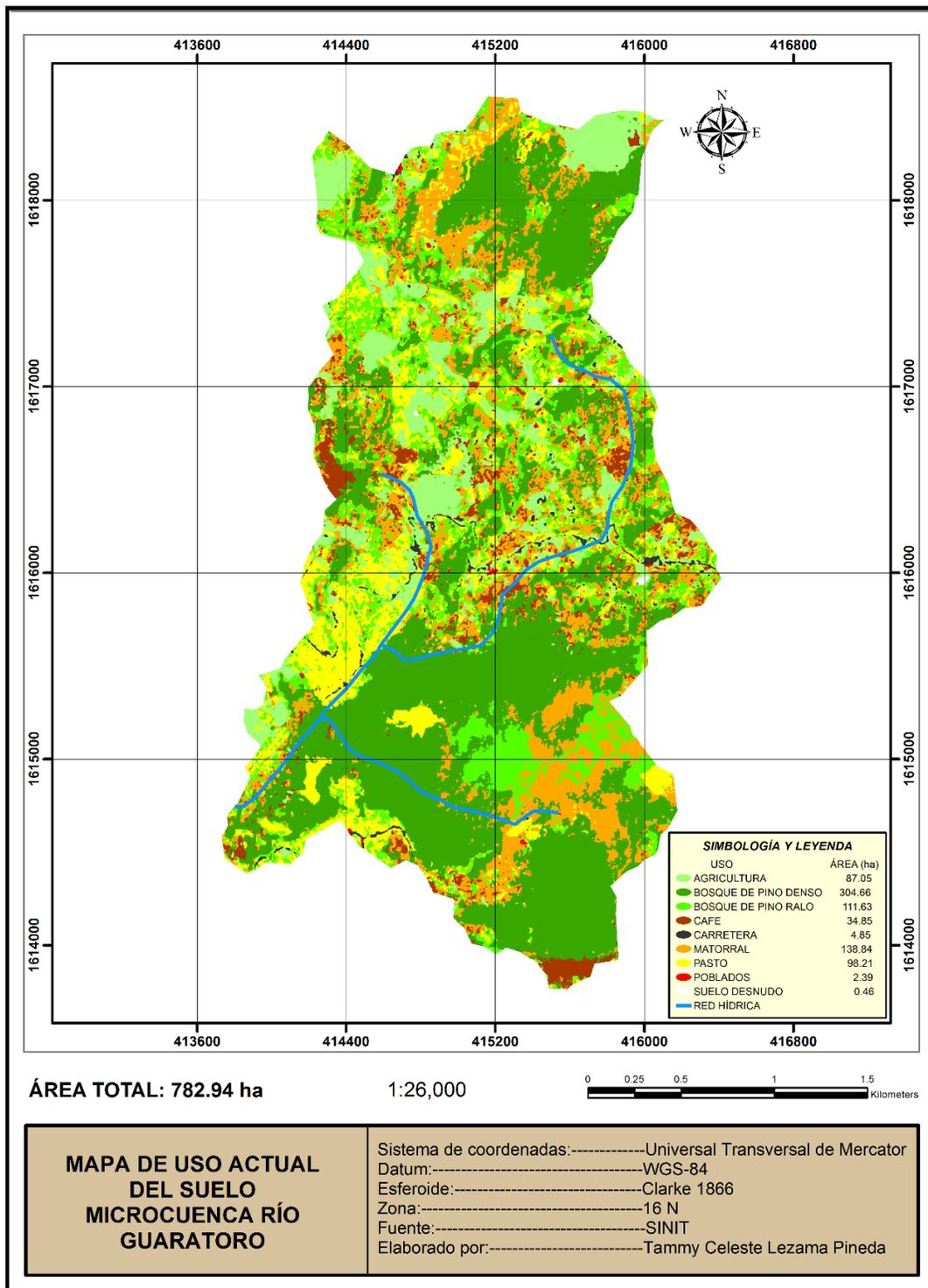
Anexo 3. Mapa de uso actual del suelo Microcuenca Quebrada El Rincón



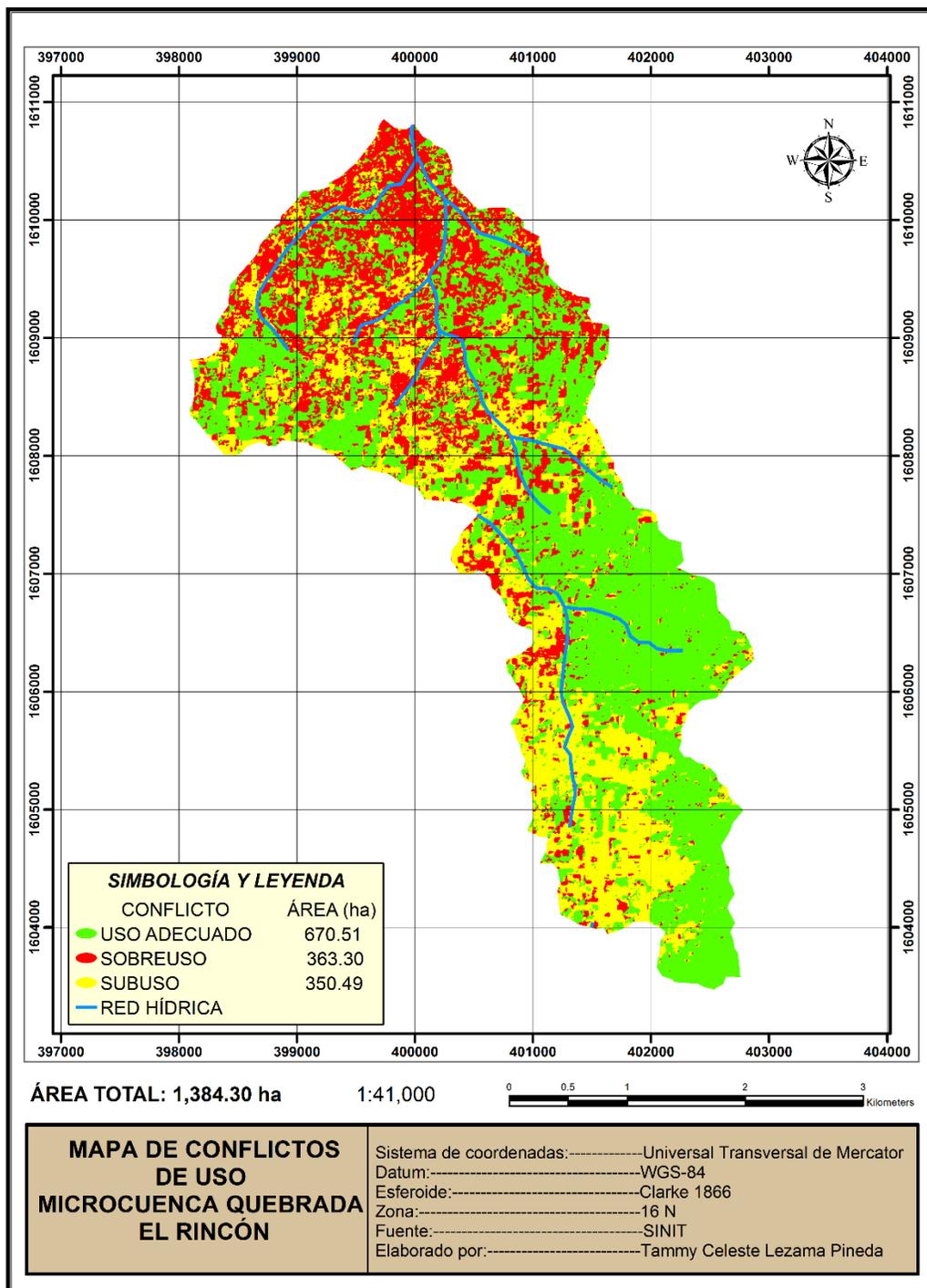
Anexo 4. Mapa de uso actual del suelo Microcuenca Quebrada Guaypís



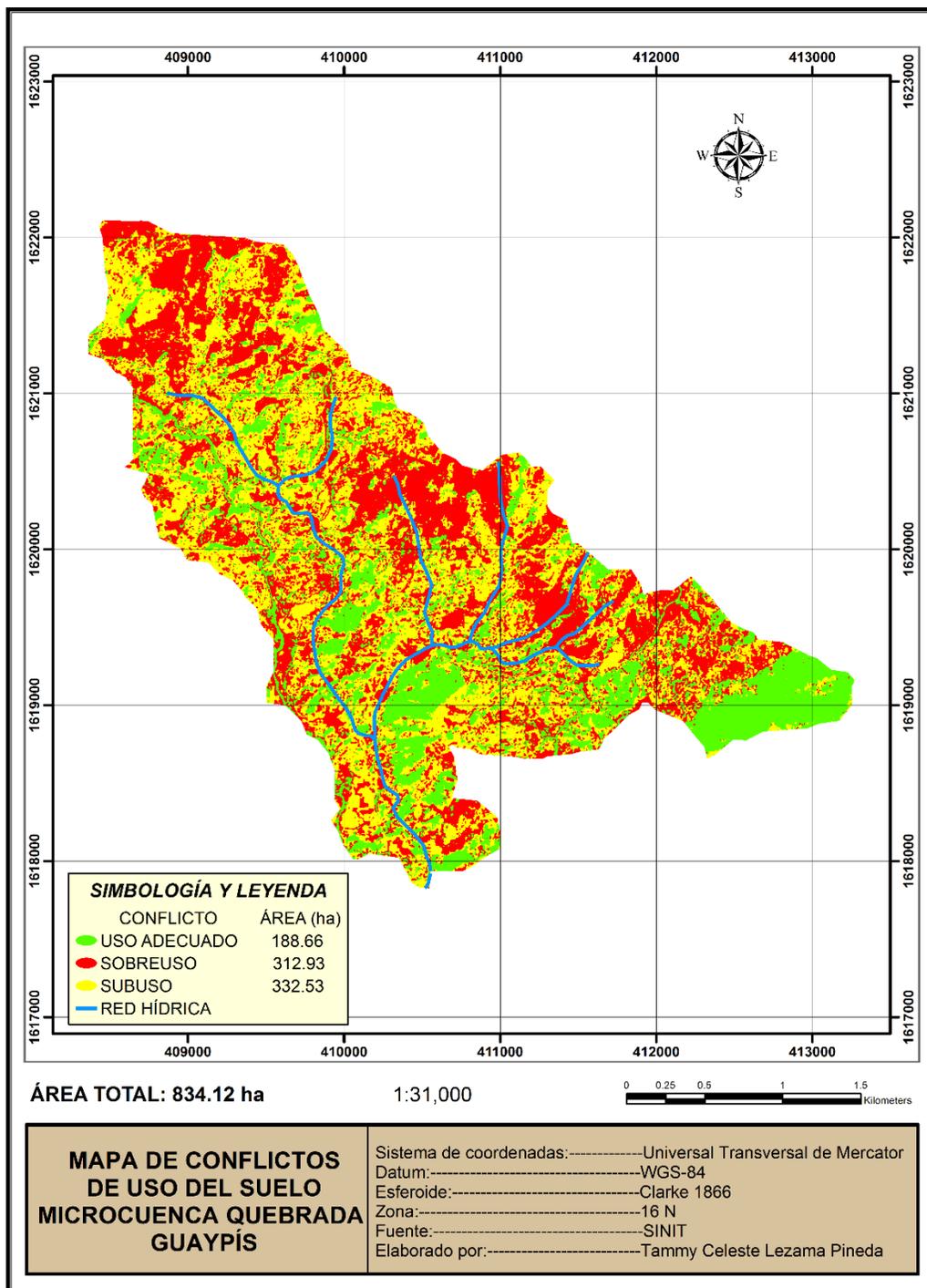
**Anexo 5. Mapa de uso actual del suelo Microcuenca Río Guaratoro**



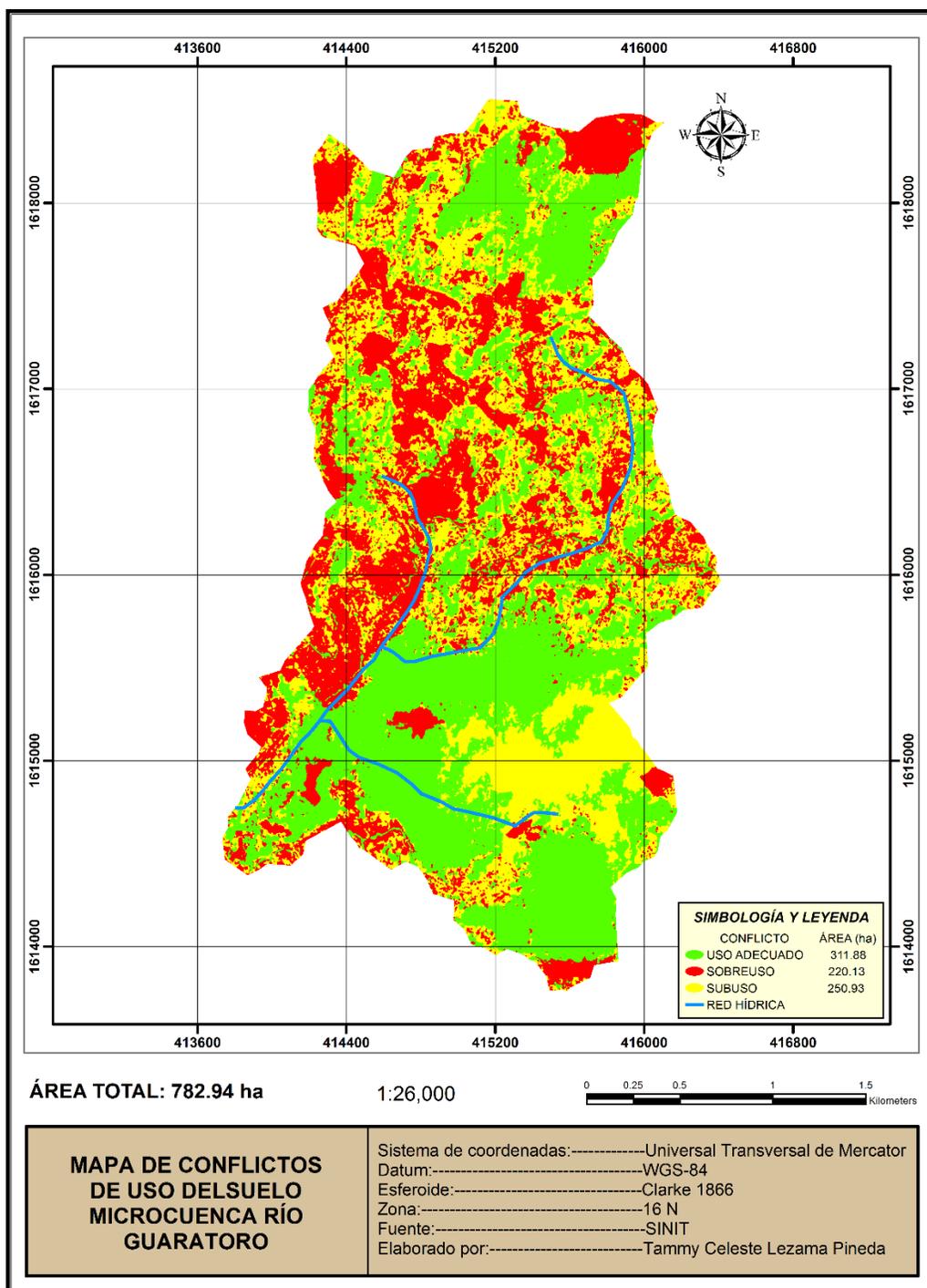
Anexo 6. Mapa de conflictos de uso del suelo Microcuenca Quebrada El Rincón



Anexo 7. Mapa de conflictos de uso del suelo Microcuenca Quebrada Guaypís



**Anexo 8. Mapa de conflictos de uso del suelo Microcuenca Río Guaratoro**



**Anexo 9.** Precisión del mapa de uso actual del suelo Microcuenca Quebrada El Rincón

ACCURACY TOTALS

-----

Class Name	Reference Totals	Classified Totals	Number Correct	Producers Accuracy	Users Accuracy
-----	-----	-----	-----	-----	-----
Class 11	4	4	4	100.00%	100.00%
Class 12	4	3	3	75.00%	100.00%
Class 13	4	5	3	75.00%	60.00%
Class 14	4	5	3	75.00%	60.00%
Class 15	4	3	3	75.00%	100.00%
Class 18	4	4	3	75.00%	75.00%
Totals	25	25	20		

Overall Classification Accuracy = 80.00%

----- End of Accuracy Totals -----

KAPPA (K<sup>^</sup>) STATISTICS

-----

Overall Kappa Statistics = 0.7633

Conditional Kappa for each Category.

-----

DESCRIPCIÓN	
<b>Class 11</b>	BOSQUE DE PINO DENSO
<b>Class 12</b>	MATORRAL
<b>Class 13</b>	AGRICULTURA
<b>Class 14</b>	CAFÉ
<b>Class 15</b>	POBLADOS
<b>Class 18</b>	CARRETERA

## Anexo 10. Precisión del mapa de uso actual del suelo Microcuenca Quebrada

### Guaypís

#### ACCURACY TOTALS

-----

Class Name	Reference Totals	Classified Totals	Number Correct	Producers Accuracy	Users Accuracy
Class 4	4	3	3	75.00%	100.00%
Class 5	4	4	3	75.00%	75.00%
Class 11	4	5	3	75.00%	60.00%
Class 12	4	4	3	75.00%	75.00%
Class 13	4	4	4	100.00%	100.00%
Class 15	4	6	4	100.00%	66.67%
Class 22	4	2	2	50.00%	100.00%
Class 38	4	5	3	75.00%	60.00%
Class 54	4	3	3	75.00%	100.00%
Totals	37	37	29		

Overall Classification Accuracy = 78.38%

----- End of Accuracy Totals -----

#### KAPPA (K<sup>^</sup>) STATISTICS

-----

Overall Kappa Statistics = 0.7582

Conditional Kappa for each Category.

-----

DESCRIPCIÓN	
Class 4	CAFÉ
Class 5	SUELO DESNUDO
Class 11	BOSQUE DE PINO RALO
Class 12	MATORRAL
Class 13	BOSQUE DE PINO DENSO
Class 15	PASTO
Class 22	AGRICULTURA
Class 38	CARRETERA
Class 54	POBLADOS

## Anexo 11. Precisión del mapa de uso actual del suelo Microcuenca Río

### Guaratoro

#### ACCURACY TOTALS

-----

Class Name	Reference Totals	Classified Totals	Number Correct	Producers Accuracy	Users Accuracy
Class 3	4	3	3	75.00%	100.00%
Class 7	4	4	3	75.00%	75.00%
Class 11	4	4	4	100.00%	100.00%
Class 14	4	3	3	75.00%	100.00%
Class 16	4	5	4	100.00%	80.00%
Class 17	4	6	3	75.00%	50.00%
Class 18	4	3	3	75.00%	100.00%
Class 19	4	4	3	75.00%	75.00%
Class 20	4	4	4	100.00%	100.00%
Totals	37	37	31		

Overall Classification Accuracy = 83.78%

----- End of Accuracy Totals -----

#### KAPPA (K<sup>^</sup>) STATISTICS

-----

Overall Kappa Statistics = 0.8186

Conditional Kappa for each Category.

-----

DESCRIPCIÓN	
Class 3	SUELO DESNUDO
Class 7	BOSQUE DE PINO RALO
Class 11	BOSQUE DE PINO DENSO
Class 14	MATORRAL
Class 16	PASTO
Class 17	CARRETERA
Class 18	POBLADOS
Class 19	AGRICULTURA
Class 20	CAFÉ

## Anexo 12. Resultados de análisis de suelos en laboratorio

SECRETARIA DE AGRICULTURA Y GANADERIA (SAG)  
PROGRAMA NACIONAL DE FORMATO A LA AGRICULTURA IRRIGADA - PRONAGRI  
DEPARTAMENTO DE DESARROLLO DE TECNOLOGIA DE RIEGO Y DRENAJE  
D.D.T.R.D  
LABORATORIO DE SUELOS

CONTRATO: 01/08/2017  
FECHA DE MUESTREO: 12/07/2017  
INSTITUCION: UNACIFOR/ Aguas de Siguatepeque  
LOCALIZACION: Siguatepeque  
SOLICITADO POR: Tammy Celeste Lezama Pineda  
TELEFONO: 9879-2828  
CORREO ELECTRONICO : tamle20@hotmail.com

Muestra N°	Horizonte	Profundidad (m)	ANÁLISIS							Clasificación del Suelo
			Gravedad Especifica				Indice de Plasticidad			
			Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio	Limite Liquido	Limite Plastico	Indice de Plasticidad	
Quebrada Guaypis	A	28 cm	2.522	2.556	2.547	2.542	NP	NP	NP	Franco Arenoso
	B	22 cm	2.453	2.428	2.457	2.446	NP	NP	NP	Franco Arenoso
Quebrada El Rincon	A	23 cm	2.548	2.594	2.581	2.574	42.67	28.19	14.48	Franco Arenoso
	B	27 cm	2.638	2.603	2.603	2.615	50.29	25.71	24.58	Franco Arcilloso
Area del Rio Guaratoro	A	22 cm	2.272	2.315	2.248	2.278	27.27	18.19	9.08	Franco Arenoso
	B	28 cm	2.478	2.527	2.527	2.511	NP	NP	NP	Franco

PERMEABILIDAD				
MUESTRA	MOLDE	PROFUNDIDAD (m)	VALOR	PERMEABILIDAD
Quebrada	K - 13	0.20	9.0121E-04	BAJA
Guaypis	Z - 24	0.50	3.7217 E- 03	MEDIA
Quebrada	L - 4	0.20	2.1463E -03	MEDIA
El Rincon	V - 3	0.50	3.7317E-03	MEDIA
Rio	R -16	0.20	5.4759E-05	BAJA
Garatoro	B - 4	0.50	5.3781E-05	BAJA

  
Ing. Mañá Cristina Rivera L.  
Jefe del DDTRD



  
Tec. Lab. Dorly Bendezu  
Coord. Área de Laboratorio

**Anexo 13. Tabla de Permeabilidad del Suelo y Aplicabilidad de los Ensayos de Perme Coeficiente de Permeabilidad (cm/s)**

TABLA 2-1 PERMEABILIDAD DEL SUELO Y APLICABILIDAD DE LOS ENSAYOS DE PERME COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD  $k$  (cm/s)

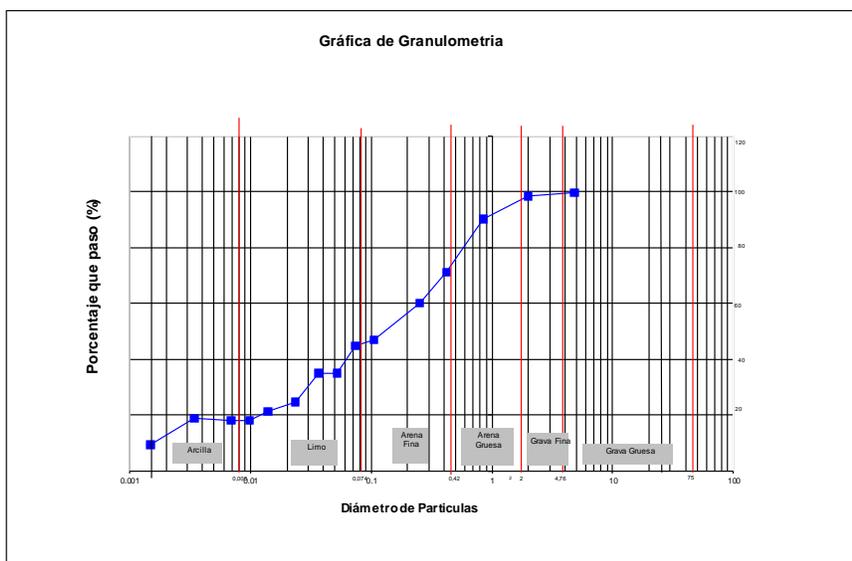
		$10^2$	10	1.0	$10^{-1}$	$10^{-2}$	$10^{-3}$	$10^{-4}$	$10^{-5}$	$10^{-6}$	$10^{-7}$	$10^{-8}$	$10^{-9}$
PERMEABILIDAD		A L T A			M E D I A		B A J A		M U Y B A J A		P R A C T I C A M E N T E I M P E R M E A B L E		
CLASIFICACION DEL SUELO		ARENA LIMPIA (GW, GP)	ARENA LIMPIA Y SUELO MESCLADO		ARENA FINA, ARENA LIMOSA, ARCILLA LIMOSA		SUELO IMPERMEABLE POR EJEMPLO ARCILLA						
		ARENA LIMPIA Y GRAVA (GW, GP, SW, SP)	ARCILLA ESTRATIFICADA, E.T.C (SM, SC, ML)		HOMOGENEA NO-INTemperizada, CH, MH								
METODO PARA DETERMINAR COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD	MEDICION DIRECTA	IN-SITU	ENSAYO DE PERMEABILIDAD IN-SITU (PRUEBA DE BOMBEO)				ENSAYO DE PERMEABILIDAD IN-SITU METODO DE RECUPERACION, METODO DE BOMBEO						
		EN LABORATORIO			ENSAYO PERM. CARGA CONSTANTE	ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE CARGA VARIABLE. EL SUELO ESTA SATURADO							
	DEDUCCION POR APROXIMACION	CALCULO A PARTIR DE DISTRIBUCION GRANULOMETRICA (APLICABLE A ARENA LIMPIA Y GRAVAS)							DERIVACION INDIRECTA A PARTIR DEL RESULTADO DEL ENSAYO DE CONSOLIDACION				

## Anexo 14. Resultados de análisis de suelo Microcuenca Quebrada el Rincón

### horizonte A

SECRETARIA DE AGRICULTURA Y GANADERIA (SAG)  
 SERVICIO NACIONAL DE INFRAESTRUCTURA RURAL Y DE RIEGO  
 SENINFRA  
 DEPARTAMENTO DE DESARROLLO DE TECNOLOGIA DE RIEGO Y DRENAJE (DDTRD)

INSTITUCION:	UNACIFOR/ Aguas de Siguatepeque	FECHA DE CONTRATO:	1/8/2017
LOCALIZACION:	Quebrada El Rincon, Siguatepeque	FECHA DE MUESTREO:	12/7/2017
DEPARTAMENTO:	Comayagua	HORIZONTE:	A
ATENCION:	Ing. Fernando Villalvir	PROFUNDIDAD:	23 cm
PROYECTO:	Trabajo de Tesis-UNACIFOR		
SOLICITADO POR:	Tammy Celeste Lezama Pineda		
	Investigacion de Tesis		
TELEFONO :	9879-2828		
OBSERVACIONES:	Muestreo realizado por el solicitante		
	Tammy Celeste Lezama Pineda		
INTROD. DE DATOS:	JR - DB		



TIPO DE SUELO

FRANCO ARENOSO

% CONTENIDOS DE PARTICULAS

ARCILLA	18.37
LIMO	26.50
ARENA FINA	26.37
ARENA GRUESA	27.45
GRAVA FINA	1.07
GRAVA GRUESA	0.25
TOTAL	100.00

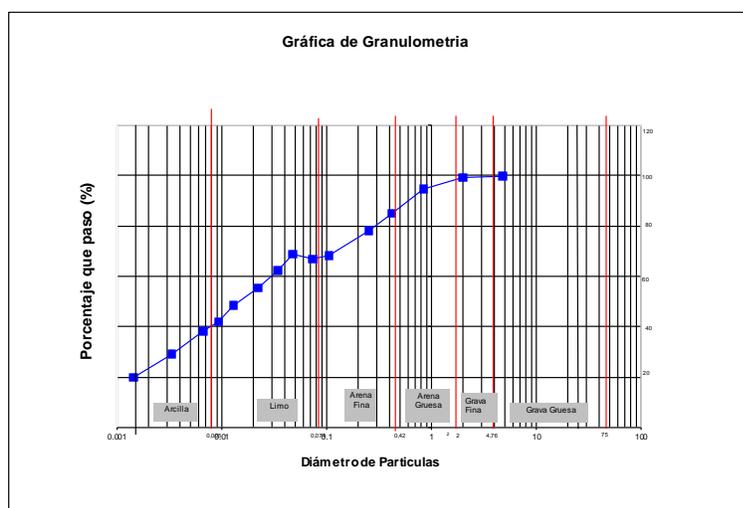
DATOS GENERALES DEL SUELO

GRAVEDAD ESPECIFICA Gs	2.575
INDICE DE PLASTICIDAD	14.48

## Anexo 15. Resultados de análisis de suelo Microcuenca Quebrada el Rincón horizonte B

SECRETARIA DE AGRICULTURA Y GANADERIA (SAG)  
SERVICIO NACIONAL DE INFRAESTRUCTURA RURAL Y DE RIEGO  
SENINFRA  
DEPARTAMENTO DE DESARROLLO DE TECNOLOGIA DE RIEGO Y DRENAJE (DDTRD)

INSTITUCION: UNACIFOR/ Aguas de Siguatepeque FECHA DE CONTRATO: 1/8/2017  
LOCALIZACION: Quebrada El Rincon, Siguatepeque FECHA DE MUESTREO: 12/7/2017  
DEPARTAMENTO: Comayagua HORIZONTE: B  
ATENCION: Ing. Fernando Villalvir PROFUNDIDAD: 27 cm  
PROYECTO: Trabajo de Tesis-UNACIFOR  
SOLICITADO POR: Tammy Celeste Lezama Pineda  
Investigacion de Tesis  
TELEFONO : 9879-2828  
OBSERVACION: Muestreo realizado por el solicitante  
Tammy Celeste Lezama Pineda  
INTROD. DE DATOS: JR - DB



### TIPO DE SUELO

FRANCO ARCILLOSO

### % CONTENIDOS DE PARTICULAS

ARCILLA	33.72
LIMO	33.02
ARENA FINA	18.04
ARENA GRUESA	14.54
GRAVA FINA	0.48
GRAVA GRUESA	0.18
TOTAL	100.00

### DATOS GENERALES DEL SUELO

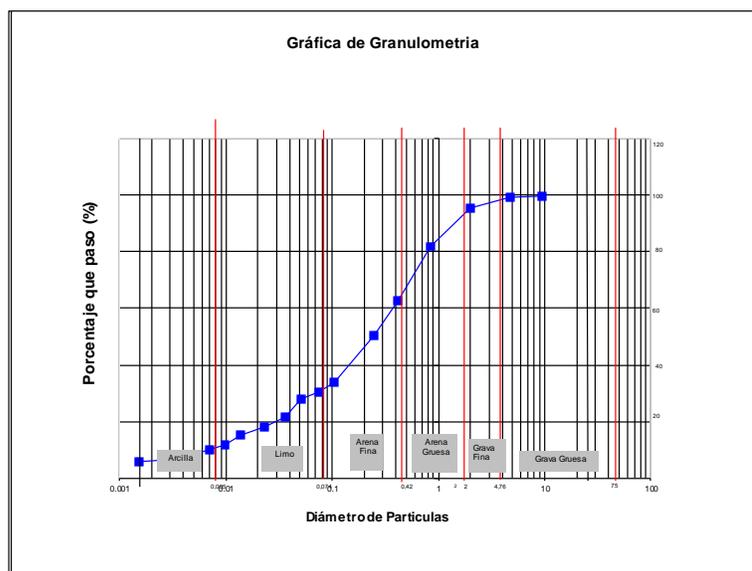
GRAVEDAD ESPECIFICA Gs	2.615
INDICE DE PLASTICIDAD	24.58

## Anexo 16. Resultados de análisis de suelo Microcuenca Quebrada Guaypís

### horizonte A

SECRETARIA DE AGRICULTURA Y GANADERIA (SAG)  
 SERVICIO NACIONAL DE INFRAESTRUCTURA RURAL Y DE RIEGO  
 SENINFRA  
 DEPARTAMENTO DE DESARROLLO DE TECNOLOGIA DE RIEGO Y DRENAJE (DDTRD)

INSTITUCION: UNACIFOR/ Aguas de Siguatepeque FECHA DE CONTRATO: 1/8/2017  
 LOCALIZACION: Area de la Quebrada Guaypís FECHA DE MUESTREO: 12/7/2017  
 DEPARTAMENTO: Comayagua HORIZONTE: A  
 ATENCION: Ing. Fernando Villalvir PROFUNDIDAD: 28 cm  
 PROYECTO: Trabajo de Tesis-UNACIFOR  
 SOLICITADO POR: Tammy Celeste Lezama Pineda  
 Investigacion de Tesis  
 TELEFONO : 9879-2828  
 OBSERVACIONES: Muestreo realizado por el solicitante  
 Tammy Celeste Lezama Pineda  
 INTROD. DE DATOS: JR - DB



#### TIPO DE SUELO

FRANCO ARENOSO
----------------

#### %CONTENIDOS DE PARTICULAS

ARCILLA	8.39
LIMO	22.34
ARENA FINA	32.19
ARENA GRUESA	32.57
GRAVA FINA	3.64
GRAVA GRUESA	0.88
TOTAL	100.00

#### DATOS GENERALES DEL SUELO

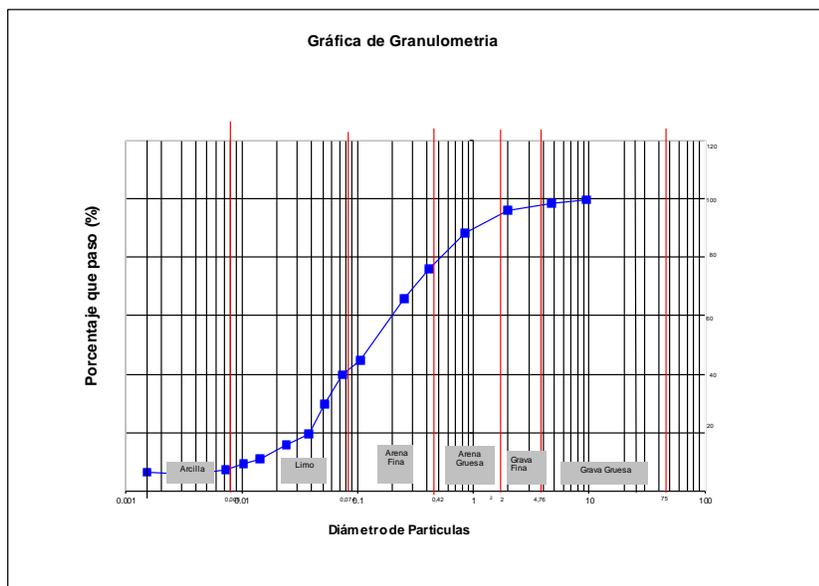
GRAVEDAD ESPECIFICA Gs	2.542
INDICE DE PLASTICIDAD	NP

## Anexo 17. Resultados de análisis de suelo Microcuenca Quebrada Guaypís

### horizonte B

SECRETARIA DE AGRICULTURA Y GANADERIA (SAG)  
SERVICIO NACIONAL DE INFRAESTRUCTURA RURAL Y DE RIEGO  
SENINFRA  
DEPARTAMENTO DE DESARROLLO DE TECNOLOGIA DE RIEGO Y DRENAJE (DDTRD)

INSTITUCION:	UNACIFOR/ Aguas de Siguatepeque	FECHA DE CONTRATO:	1/8/2017
LOCALIZACION:	Area de la Quebrada Guaypís, Siguatepeque	FECHA DE MUESTREO:	12/7/2017
DEPARTAMENTO:	Comayagua	HORIZONTE:	B
ATENCION:	Ing. Fernando Villalvir	PROFUNDIDAD:	22 cm
PROYECTO:	Trabajo de Tesis-UNACIFOR		
SOLICITADO POR:	Tammy Celeste Lezama Pineda		
	Investigacion de tesis		
TELEFONO:	9879-2828		
OBSERVACIONES:	Muestreo realizado por el solicitante		
	Tammy Celeste Lezama Pineda		
INTRODUCTOR DE DATOS:	JR - DB		



TIPO DE SUELO

FRANCO ARENOSO

% CONTENIDOS DE PARTICULAS

ARCILLA		6.29
LIMO		33.40
ARENA FINA		36.50
ARENA GRUESA		19.81
GRAVA FINA		2.70
GRAVA GRUESA		1.31
TOTAL		100.00

DATOS GENERALES DEL SUELO

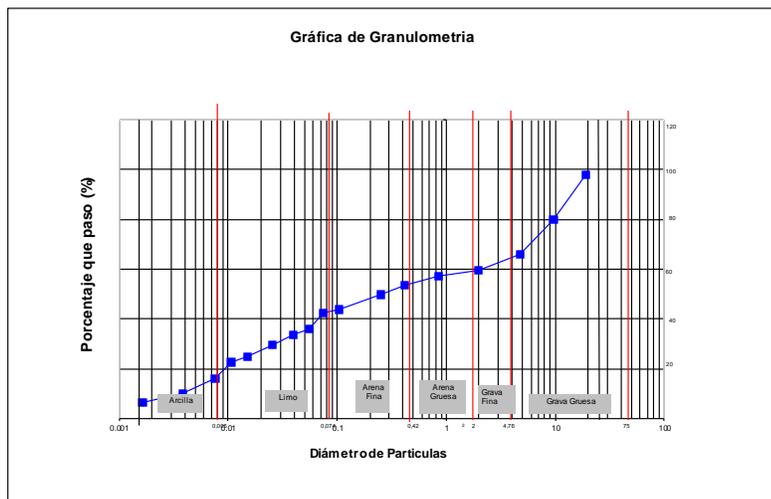
GRAVEDAD ESPECIFICA Gs		2.446
INDICE DE PLASTICIDAD		NP

## Anexo 18. Resultados de análisis de suelo Microcuenca Río Guaratoro

### horizonte A

SECRETARIA DE AGRICULTURA Y GANADERIA (SAG)  
SERVICIO NACIONAL DE INFRAESTRUCTURA RURAL Y DE RIEGO  
SENINFRA  
DEPARTAMENTO DE DESARROLLO DE TECNOLOGIA DE RIEGO Y DRENAJE (DDTRD)

INSTITUCION:	UNACIFOR/ Aguas de Siguatepeque	FECHA DE CONTRATO:	1/8/2017
LOCALIZACION:	Area del Rio Guaratoro	FECHA DE MUESTREO:	13/7/2017
DEPARTAMENTO:	Comayagua	HORIZONTE:	A
ATENCION:	Ing. Fernando Villalvir	PROFUNDIDAD:	22 cm
PROYECTO:	Trabajo de Tesis-UNACIFOR		
SOLICITADO POR:	Tammy Celeste Lezama Pineda		
	Investigacion de Tesis		
TELEFONO :	9879-2828		
OBSERVACION:	Muestreo realizado por el solicitante		
	Tammy Celeste Lezama Pineda		
INTROD. DE DATOS:	JR		



TIPO DE SUELO

FRANCO ARENOSO

% CONTENIDOS DE PARTICULAS

ARCILLA	11.89
LIMO	30.80
ARENA FINA	19.69
ARENA GRUESA	6.31
GRAVA FINA	6.16
GRAVA GRUESA	34.15
TOTAL	100.00

DATOS GENERALES DEL SUELO

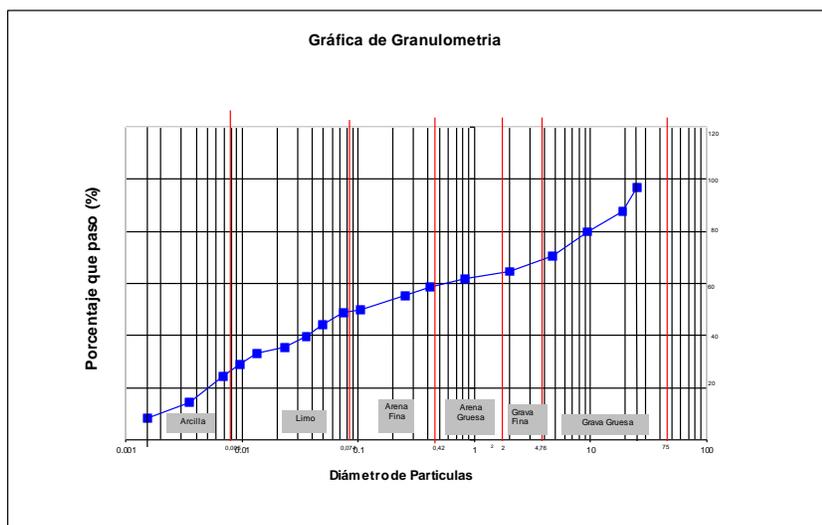
GRAVEDAD ESPECIFICA Gs	2.278
INDICE DE PLASTICIDAD	9.08

## Anexo 19. Resultados de análisis de suelo Microcuenca Río Guaratoro

### horizonte B

SECRETARIA DE AGRICULTURA Y GANADERIA (SAG)  
 SERVICIO NACIONAL DE INFRAESTRUCTURA RURAL Y DE RIEGO  
 SENINFRA  
 DEPARTAMENTO DE DESARROLLO DE TECNOLOGIA DE RIEGO Y DRENAJE (DDTRD)

INSTITUCION:	Aguas de Siguatepeque	FECHA DE CONTRATO:	8/1/2017
LOCALIZACION:	Area del Rio Guaratoro	FECHA DE MUESTREO:	13/7/2017
DEPARTAMENTO:	Comayagua	HORIZONTE:	B
ATENCION:	Ing. Fernando Villalvir	PROFUNDIDAD:	28 cm
PROYECTO:	Trabajo de Tesis-UNACIFOR		
SOLICITADO POR:	Tammy Celeste Lezama Pineda		
	Investigacion de Tesis		
TELEFONO :	9879-2828		
INTROD. DE DATOS:	JR		



#### TIPO DE SUELO

FRANCO

#### % CONTENIDOS DE PARTICULAS

ARCILLA	18.83
LIMO	30.18
ARENA FINA	9.41
ARENA GRUESA	6.12
GRAVA FINA	5.91
GRAVA GRUESA	29.55
TOTAL	100.00

#### DATOS GENERALES DEL SUELO

GRAVEDAD ESPECIFICA Gs	2.510
INDICE DE PLASTICIDAD	NP

## Anexo 20. Determinación de orgánicos Quebrada El Rincón



FUNDACIÓN HONDUREÑA DE INVESTIGACIÓN AGRÍCOLA

CODIGO: RT-41  
Versión No. 2  
Pág. 2/3

Laboratorio Químico Agrícola  
**Análisis de Residuos de Plaguicidas**  
**INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO**

<b>Cliente:</b> Aguas de Siguatepeque	<b>Laboratorio No.:</b> 164
<b>Dirección:</b> Siguatepeque	<b>Fecha de Ingreso:</b> 2017/08/29
<b>Contacto:</b> Tammy Lezama	<b>Fecha de Ejecución del Análisis:</b> 2017/08/29 – 2017-09-01
<b>Entregada Por:</b> Tammy Lezama	<b>Solicitud #:</b> 04075
<b>Mtra. Recolectada Por:</b> El cliente	<b>Factura #:</b> 08239
<b>Matriz:</b> Agua superficial	<b>Informe:</b> Plag #058-A/17
<b>Condiciones de recepción de mtra:</b> Cantidad suficiente, conservada en hielo y en un envase adecuado proporcionado por el laboratorio Fhia, no preservada por el cliente.	
<b>Identificación:</b> "Quebrada El Rincón"	<b>Fecha Emisión de Informes:</b> 2017, Septiembre 06

<b>Tipo de Muestra</b>	AGUA DE SUPERFICIAL
<b>Número de Muestra</b>	164
<b>Análisis Realizado</b>	Organoclorados, organofosforados y piretroides
<b>Identificación de la Muestra</b>	"Quebrada El Rincón"
<b>Resultado</b>	<b>NO DETECTADO</b>

-----U.L.-----  
**No detectados:** No se detectaron plaguicidas organoclorados al límite de cuantificación del Clorphyrifos 0,001 ppm y del Carbaryl 0.5 ppm (Carbamatos).

Por *Por Dorán*  
Carlos Guggel, Ph. D.

Jefe Lab. Químico Agrícola &  
Análisis de Residuos de Plaguicidas



ma/Sol.4075/plag058-A/2017

Los resultados presentados corresponden únicamente a las muestras suministradas por el cliente al laboratorio Químico Agrícola de la Fhia.  
Este Informe de Resultados de Ensayo no se puede reproducir excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita del Lab. Químico Agrícola de la Fhia.

Apartado Postal 2067, San Pedro Sula, Cortés, Honduras, C.A.  
Tels. PBX: (504) 2668-2470, 2668-2827, 2668-2864, Fax: (504) 2668-2313  
Correo electrónico: fhia@fhia-hn.org  
La Lima, Cortés, Honduras, C.A.  
www.fhia.org.hn

## Anexo 21. Determinación de orgánicos Quebrada Guaypís



FUNDACIÓN HONDUREÑA DE INVESTIGACIÓN AGRÍCOLA

CODIGO: RT-41  
Versión No. 2  
Pág. 3/3

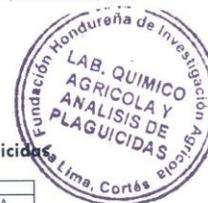
Laboratorio Químico Agrícola  
**Análisis de Residuos de Plaguicidas**  
**INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO**

<b>Cliente:</b> Aguas de Siguatepeque	<b>Laboratorio No.:</b> 165
<b>Dirección:</b> Siguatepeque	<b>Fecha de Ingreso:</b> 2017/08/29
<b>Contacto:</b> Tammy Lezama	<b>Fecha de Ejecución del Análisis:</b> 2017/08/29 – 2017-09-01
<b>Entregada Por:</b> Tammy Lezama	<b>Solicitud #:</b> 04075
<b>Mtra. Recolectada Por:</b> El cliente	<b>Factura #:</b> 08239
<b>Matriz:</b> Agua superficial	<b>Informe:</b> Plag #058-B/17
<b>Condiciones de recepción de mtra:</b> Cantidad suficiente, conservada en hielo y en un envase adecuado proporcionado por el laboratorio Fhia, no preservada por el cliente.	
<b>Identificación:</b> "Quebrada Guaypís"	<b>Fecha Emisión de Informes:</b> 2017, Septiembre 06

<b>Tipo de Muestra</b>	AGUA DE SUPERFICIAL
<b>Número de Muestra</b>	165
<b>Análisis Realizado</b>	Organoclorados, organofosforados y piretroides
<b>Identificación de la Muestra</b>	"Quebrada Guaypís"
<b>Resultado</b>	<b>NO DETECTADO</b>

-----U.L.-----  
**No detectados:** No se detectaron plaguicidas organoclorados al límite de cuantificación del Clorphyrifos 0.001 ppm y del Carbaryl 0.5 ppm (Carbamatos).

*Per Doran*  
Carlos Gauggel, Ph. D.  
Jefe Lab. Químico Agrícola &  
Análisis de Residuos de Plaguicidas



ma/Sol.4075/plag058-B/2017

Los resultados presentados corresponden únicamente a las muestras suministradas por el cliente al laboratorio Químico Agrícola de la Fhia.  
Este Informe de Resultados de Ensayo no se puede reproducir excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita del Lab. Químico Agrícola de la Fhia.

Apartado Postal 2067, San Pedro Sula, Cortés, Honduras, C.A.  
Tels. PBX: (504) 2668-2470, 2668-2827, 2668-2864, Fax: (504) 2668-2313  
Correo electrónico: fhia@fhia-hn.org  
La Lima, Cortés, Honduras, C.A.  
www.fhia.org.hn

## Anexo 22. Determinación de orgánicos Río Guaratoro



FUNDACIÓN HONDUREÑA DE INVESTIGACIÓN AGRÍCOLA

CODIGO: RT-41  
Versión No. 2  
Pág. 1/3

Laboratorio Químico Agrícola  
**Análisis de Residuos de Plaguicidas**  
**INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO**

<b>Cliente:</b> Aguas de Siguatepeque	<b>Laboratorio No.:</b> 163
<b>Dirección:</b> Siguatepeque	<b>Fecha de Ingreso:</b> 2017/08/29
<b>Contacto:</b> Tammy Lezama	<b>Fecha de Ejecución del Análisis:</b> 2017/08/29 – 2017-09-01
<b>Entregada Por:</b> Tammy Lezama	<b>Solicitud #:</b> 04075
<b>Mtra. Recolectada Por:</b> El cliente	<b>Factura #:</b> 08239
<b>Matriz:</b> Agua superficial	<b>Informe: Plag #</b> 058/17
<b>Condiciones de recepción de mtra:</b> Cantidad suficiente, conservada en hielo y en un envase adecuado proporcionado por el laboratorio Fhia, no preservada por el cliente.	
<b>Identificación:</b> "Río Guaratoro"	<b>Fecha Emisión de Informes:</b> 2017, Septiembre 06

<b>Tipo de Muestra</b>	AGUA DE SUPERFICIAL
<b>Número de Muestra</b>	163
<b>Análisis Realizado</b>	Organoclorados, organofosforados y piretroides
<b>Identificación de la Muestra</b>	"Río Guaratoro"
<b>Resultado</b>	<b>NO DETECTADO</b>

-----U.L.-----

**No detectados:** No se detectaron plaguicidas organoclorados al límite de cuantificación del Clorphyrifos 0.001 ppm y del Carbaryl 0.5 ppm (Carbamatos).

Por *Horán*  
Carlos Gauggel, Ph. D.  
Jefe Lab. Químico Agrícola &  
Análisis de Residuos de Plaguicidas



ma/Sol.4075/plag058/2017

Los resultados presentados corresponden únicamente a las muestras suministradas por el cliente al laboratorio Químico Agrícola de la Fhia.  
Este Informe de Resultados de Ensayo no se puede reproducir excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita del Lab. Químico Agrícola de la Fhia.

Apartado Postal 2067, San Pedro Sula, Cortés, Honduras, C.A.  
Tels. PBX: (504) 2668-2470, 2668-2827, 2668-2864, Fax: (504) 2668-2313  
Correo electrónico: fhia@fhia-hn.org  
La Lima, Cortés, Honduras, C.A.  
www.fhia.org.hn

## Anexo 23. Determinación física y microbiológica Quebrada El Rincón



FUNDACIÓN HONDUREÑA DE INVESTIGACIÓN AGRÍCOLA

CODIGO: RT-41  
Versión No. 2  
Pág. 1/2

### Laboratorio Químico Agrícola INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO

<b>Cliente:</b> Aguas de Siguatepeque	<b>Muestra No.:</b> 1084
<b>Dirección:</b> Siguatepeque	<b>Fecha de Ingreso:</b> 2017/08/29
<b>Contacto:</b> Tammy Lezama	<b>Fecha de Ejecución del Análisis:</b> 2017/08/29 – 2017/09/21
<b>Entregada Por:</b> Tammy Lezama	<b>Solicitud #:</b> 40075
<b>Mtra. Recolectada Por:</b> El cliente	<b>Factura #:</b> 08238
<b>Matriz:</b> Agua superficial	<b>Informe:</b> Lqa #0512-B/17
<b>Condiciones de recepción de mtra:</b> Cantidad suficiente, conservada en hielo y en un envase adecuado suministrado por el laboratorio Fhia, no preservada por el cliente.	
<b>Identificación:</b> "Quebrada El Rincón"	<b>Fecha de Emisión de Informe:</b> 2017, Septiembre 21

Determinación Física	Resultado	Norma	Método
pH (in lab)	6.98	6.5-8.5	4500-H <sup>+</sup> B
Conductividad Eléctrica	37.40 µs/cm	400 µs/cm	2510-B Conductímetro
Total Sólidos Disueltos	23.94 mg/L	1000 mg/L	2510-B (cálculo)
<b>Determinación Química</b>			
Alcalinidad	8.48 mg/L	--	2320 B Titulación H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
Sodio (Na)	2.53 mg/L	25-200 mg/L	3500-Na B Emisión
Potasio (K)	2.50 mg/L	10 mg/L max	3500-K B Emisión
Calcio (Ca)	0.52 mg/L	100 mg/L CaCO <sub>3</sub>	3111-B Ca Absorción atómica
Magnesio (Mg)	0.18 mg/L	30-50 mg/L CaCO <sub>3</sub>	3111-B Mg Absorción atómica
Cloruros (Cl <sup>-</sup> )	2.93 mg/L	25-250 mg/L-Cl	4500-Cl B Argentométrico
Hierro (Fe)	0.52 mg/L	0.3 mg/L max	3111-B Fe Absorción atómica
Manganeso (Mn)	0.05 mg/L	0.01-0.5 mg/L max	3111-B Mn Absorción atómica
Cobre (Cu)	<0.015 mg/L	1.0-2.0 mg/L	3111-B Cu Absorción atómica
Zinc (Zn)	0.04 mg/L	3.0 mg/L max	3111-B Zn Absorción atómica
Dureza total	6.00 mg/L	400 mg/L CaCO <sub>3</sub>	2340-C
Sulfatos (SO <sub>4</sub> )	1.35 mg/L	25-250 mg/L	4500-SO <sub>4</sub> E Turbidímetro
Nitratos (NO <sub>3</sub> )	9.24 mg/L	25-50 mg/L	4500-NO <sub>3</sub> E
Nitritos (NO <sub>2</sub> )	0.02 mg/L	0.1-3.0 mg/L	4500-NO <sub>2</sub> B colorimétrico
Nitrógeno Amoniacal (NH <sub>4</sub> )	0.34 mg/L	0.05-0.5 mg/L max	4500-NH <sub>4</sub> Colorimétrico (cálculo)
Fluoruros (F <sup>-</sup> )	<0.02 mg/L	0.7-1.5 mg/L	4500-F D SPANS
Turbidez	10 UNT	1-5 UNT	2130-B
Sólidos Suspendidos Totales	8.00 mg/L	--	2540-D
Cadmio (Cd)	<0.20 µg/L	3 µg/L	3113-B
<b>Determinación Microbiológica</b>			
• Coliformes Totales	10 000.0 NMP/100 mL	0 NMP/100 mL	9223-B
• Coliformes Fecales	120.2 NMP/100 mL	0 NMP/100 mL	9223-B Colilet 18

AGUA= MUY BLANDA

Apartado Postal 2067, San Pedro Sula, Cortés, Honduras, C.A.  
Tels. PBX: (504) 2668-2470, 2668-2827, 2668-2864, Fax: (504) 2668-2313  
Correo electrónico: fhia@fhia-hn.org  
La Lima, Cortés, Honduras, C.A.  
www.fhia.org.hn



FUNDACIÓN HONDUREÑA DE INVESTIGACIÓN AGRÍCOLA

CODIGO: RT-41  
Versión No. 2  
Pág. 2/2

**Norma:** Norma Técnica Nacional para la Calidad del Agua Potable, según Acuerdo No. 84 Julio 10, 1995.  
**Método:** Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22th edition 2012.

• Análisis Microbiológico Subcontratado.  $<1=0$  NMP/100 mL  
NMP= Número más probable

Per Horán  
Carlos Gauggel, Ph.D.  
Jefe Lab. Químico Agrícola



ma/Sol.40075/agua superficial/lqa0512-8/17

Los resultados presentados corresponden únicamente a las muestras suministradas por el cliente al laboratorio Químico Agrícola de la FIA.  
Este Informe de Resultados de Ensayo no se puede reproducir excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita del Lab. Químico Agrícola de la FIA.

Apartado Postal 2067, San Pedro Sula, Cortés, Honduras, C.A.  
Tels. PBX: (504) 2668-2470, 2668-2827, 2668-2864, Fax: (504) 2668-2313  
Correo electrónico: fhia@fhia-hn.org  
La Lima, Cortés, Honduras, C.A.  
www.fhia.org.hn

## Anexo 24. Determinación física y microbiológica Quebrada Guaypís



FUNDACIÓN HONDUREÑA DE INVESTIGACIÓN AGRÍCOLA

CODIGO: RT-41  
Versión No. 2  
Pág. 1/2

### Laboratorio Químico Agrícola INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO

<b>Cliente:</b> Aguas de Siguatepeque	<b>Muestra No.:</b> 1082
<b>Dirección:</b> Siguatepeque	<b>Fecha de Ingreso:</b> 2017/08/29
<b>Contacto:</b> Tammy Lezama	<b>Fecha de Ejecución del Análisis:</b> 2017/08/29 – 2017/09/21
<b>Entregada Por:</b> Tammy Lezama	<b>Solicitud #:</b> 40075
<b>Mtra. Recolectada Por:</b> El cliente	<b>Factura #:</b> 08238
<b>Matriz:</b> Agua superficial	<b>Informe:</b> Lqa #0512/17
<b>Condiciones de recepción de mtra:</b> Cantidad suficiente, conservada en hielo y en un envase adecuado suministrado por el laboratorio FHIA, no preservada por el cliente.	
<b>Identificación:</b> "Quebrada Guaypís"	<b>Fecha de Emisión de Informe:</b> 2017, Septiembre 21

Determinación Física	Resultado	Norma	Método
pH (in lab)	7.90	6.5-8.5	4500-H <sup>+</sup> B
Conductividad Eléctrica	408.16 µs/cm	400 µs/cm	2510-B Conductímetro
Total Sólidos Disueltos	261.22 mg/L	1000 mg/L	2510-B (cálculo)
<b>Determinación Química</b>			
Alcalinidad	181.26 mg/L	--	2320 B Titulación H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
Sodio (Na)	6.39 mg/L	25-200 mg/L	3500-Na B Emisión
Potasio (K)	2.09 mg/L	10 mg/L max	3500-K B Emisión
Calcio (Ca)	54.60 mg/L	100 mg/L CaCO <sub>3</sub>	3111-B Ca Absorción atómica
Magnesio (Mg)	3.15 mg/L	30-50 mg/L CaCO <sub>3</sub>	3111-B Mg Absorción atómica
Cloruros (Cl <sup>-</sup> )	4.88 mg/L	25-250 mg/L-Cl	4500-Cl B Argentométrico
Hierro (Fe)	0.33 mg/L	0.3 mg/L max	3111-B Fe Absorción atómica
Manganeso (Mn)	0.05 mg/L	0.01-0.5 mg/L max	3111-B Mn Absorción atómica
Cobre (Cu)	<0.015 mg/L	1.0-2.0 mg/L	3111-B Cu Absorción atómica
Zinc (Zn)	<0.005 mg/L	3.0 mg/L max	3111-B Zn Absorción atómica
Dureza total	180.00 mg/L	400 mg/L CaCO <sub>3</sub>	2340-C
Sulfatos (SO <sub>4</sub> )	24.28 mg/L	25-250 mg/L	4500-SO <sub>4</sub> E Turbidímetro
Nitratos (NO <sub>3</sub> )	8.14 mg/L	25-50 mg/L	4500-NO <sub>3</sub> E
Nitritos (NO <sub>2</sub> )	0.06 mg/L	0.1-3.0 mg/L	4500-NO <sub>2</sub> B colorimétrico
Nitrógeno Amoniacal (NH <sub>4</sub> )	0.27 mg/L	0.05-0.5 mg/L max	4500-NH <sub>4</sub> Colorimétrico (cálculo)
Fluoruros (F <sup>-</sup> )	0.07 mg/L	0.7-1.5 mg/L	4500-F D SPANS
Turbidez	5 UNT	1-5 UNT	2130-B
Sólidos Suspendidos Totales	8.00 mg/L	--	2540-D
Cadmio (Cd)	<0.20 µg/L	3 µg/L	3113-B
<b>Determinación Microbiológica</b>			
• Coliformes Totales	460 100.0 NMP/100 mL	0 NMP/100 mL	9223-B
• Coliformes Fecales	210.9 NMP/100 mL	0 NMP/100 mL	9223-B Colilet 18

AGUA= SEMIDURA

Apartado Postal 2067, San Pedro Sula, Cortés, Honduras, C.A.  
Tels. PBX: (504) 2668-2470, 2668-2827, 2668-2864, Fax: (504) 2668-2313  
Correo electrónico: fhia@fhia-hn.org  
La Lima, Cortés, Honduras, C.A.  
www.fhia.org.hn



## FUNDACIÓN HONDUREÑA DE INVESTIGACIÓN AGRÍCOLA

CODIGO: RT-41  
Versión No. 2  
Pág. 2/2

**Norma:** Norma Técnica Nacional para la Calidad del Agua Potable, según Acuerdo No. 84 Julio 10, 1995.

**Método:** Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22th edition 2012.

- Análisis Microbiológico Subcontratado.  $<1 = 0$  NMP/100 mL  
NMP= Número más probable

Por *Dorán*  
Carlos Gauggel, Ph.D.  
Jefe Lab. Químico Agrícola



ma/Sol.40075/agua superficial/lqa0512/17

Los resultados presentados corresponden únicamente a las muestras suministradas por el cliente al laboratorio Químico Agrícola de la Fhia.  
Este Informe de Resultados de Ensayo no se puede reproducir excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita del Lab. Químico Agrícola de la Fhia.

Apartado Postal 2067, San Pedro Sula, Cortés, Honduras, C.A.  
Tels. PBX: (504) 2668-2470, 2668-2827, 2668-2864, Fax: (504) 2668-2313  
Correo electrónico: fhia@fhia-hn.org  
La Lima, Cortés, Honduras, C.A.  
www.fhia.org.hn

## Anexo 25. Determinación física y microbiológica Río Guaratoro



FUNDACIÓN HONDUREÑA DE INVESTIGACIÓN AGRÍCOLA

CODIGO: RT-41  
Versión No. 2  
Pág. 1/2

### Laboratorio Químico Agrícola INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO

<b>Cliente:</b> Aguas de Siguatepeque	<b>Muestra No.:</b> 1083
<b>Dirección:</b> Siguatepeque	<b>Fecha de Ingreso:</b> 2017/08/29
<b>Contacto:</b> Tammy Lezama	<b>Fecha de Ejecución del Análisis:</b> 2017/08/29 – 2017/09/21
<b>Entregada Por:</b> Tammy Lezama	<b>Solicitud #:</b> 40075
<b>Mtra. Recolectada Por:</b> El cliente	<b>Factura #:</b> 08238
<b>Matriz:</b> Agua superficial	<b>Informe:</b> Lqa #0512-A/17
<b>Condiciones de recepción de mtra:</b> Cantidad suficiente, conservada en hielo y en un envase adecuado suministrado por el laboratorio FHIA, no preservada por el cliente.	
<b>Identificación:</b> "Río Guaratoro"	<b>Fecha de Emisión de Informe:</b> 2017, Septiembre 21

Determinación Física	Resultado	Norma	Método
pH (in lab)	7.21	6.5-8.5	4500-H <sup>+</sup> B
Conductividad Eléctrica	82.00 µs/cm	400 µs/cm	2510-B Conductímetro
Total Sólidos Disueltos	52.48 mg/L	1000 mg/L	2510-B (cálculo)
<b>Determinación Química</b>			
Alcalinidad	21.20 mg/L	--	2320 B Titulación H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
Sodio (Na)	4.49 mg/L	25-200 mg/L	3500-Na B Emisión
Potasio (K)	3.89 mg/L	10 mg/L max	3500-K B Emisión
Calcio (Ca)	1.53 mg/L	100 mg/L CaCO <sub>3</sub>	3111-B Ca Absorción atómica
Magnesio (Mg)	0.48 mg/L	30-50 mg/L CaCO <sub>3</sub>	3111-B Mg Absorción atómica
Cloruros (Cl <sup>-</sup> )	3.91 mg/L	25-250 mg/L-Cl	4500-Cl B Argentométrico
Hierro (Fe)	0.90 mg/L	0.3 mg/L max	3111-B Fe Absorción atómica
Manganeso (Mn)	0.06 mg/L	0.01-0.5 mg/L max	3111-B Mn Absorción atómica
Cobre (Cu)	<0.015 mg/L	1.0-2.0 mg/L	3111-B Cu Absorción atómica
Zinc (Zn)	0.02 mg/L	3.0 mg/L max	3111-B Zn Absorción atómica
Dureza total	13.00 mg/L	400 mg/L CaCO <sub>3</sub>	2340-C
Sulfatos (SO <sub>4</sub> )	1.70 mg/L	25-250 mg/L	4500-SO <sub>4</sub> E Turbidímetro
Nitratos (NO <sub>3</sub> )	9.90 mg/L	25-50 mg/L	4500-NO <sub>3</sub> E
Nitritos (NO <sub>2</sub> )	0.02 mg/L	0.1-3.0 mg/L	4500-NO <sub>2</sub> B colorimétrico
Nitrógeno Amoniacal (NH <sub>4</sub> )	0.42 mg/L	0.05-0.5 mg/L max	4500-NH <sub>4</sub> Colorimétrico (cálculo)
Fluoruros (F <sup>-</sup> )	<0.02 mg/L	0.7-1.5 mg/L	4500-F D SPANS
Turbidez	11 UNT	1-5 UNT	2130-B
Sólidos Suspendidos Totales	5.00 mg/L	--	2540-D
Cadmio (Cd)	1.78 ± 0.15 µg/L	3 µg/L	3113-B
<b>Determinación Microbiológica</b>			
• Coliformes Totales	12 020.0 NMP/100 mL	0 NMP/100 mL	9223-B
• Coliformes Fecales	39.8 NMP/100 mL	0 NMP/100 mL	9223-B Colilet 18

AGUA= MUY BLANDA

Apartado Postal 2067, San Pedro Sula, Cortés, Honduras, C.A.  
Tels. PBX: (504) 2668-2470, 2668-2827, 2668-2864, Fax: (504) 2668-2313  
Correo electrónico: fhia@fhia-hn.org  
La Lima, Cortés, Honduras, C.A.  
www.fhia.org.hn



FUNDACIÓN HONDUREÑA DE INVESTIGACIÓN AGRÍCOLA

CODIGO: RT-41  
Versión No. 2  
Pág. 2/2

**Norma:** Norma Técnica Nacional para la Calidad del Agua Potable, según Acuerdo No. 84 Julio 10, 1995.  
**Método:** Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22th edition 2012.

- Análisis Microbiológico Subcontratado.  $<1 = 0$  NMP/100 mL  
NMP= Número más probable

Por *Jorán*  
Carlos Guggel, Ph.D.  
Jefe Lab. Químico Agrícola



ma/Sol.40075/agua superficial/lqa0512-A/17

Los resultados presentados corresponden únicamente a las muestras suministradas por el cliente al laboratorio Químico Agrícola de Fhia, Cortés.  
Este Informe de Resultados de Ensayo no se puede reproducir excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita del Lab. Químico Agrícola de Fhia, Cortés.

Apartado Postal 2067, San Pedro Sula, Cortés, Honduras, C.A.  
Tels. PBX: (504) 2668-2470, 2668-2827, 2668-2864, Fax: (504) 2668-2313  
Correo electrónico: fhia@fhia-hn.org  
La Lima, Cortés, Honduras, C.A.  
www.fhia.org.hn

**Anexo 26.** Análisis estadísticos de las temperaturas anuales y precipitaciones del municipio de Siguatepeque

**Estadísticos descriptivos: PROM. TEMP. MÍN. (°C) ANUALES**

Variable	Conteo					
	total	Media	Desv.Est.	Mínimo	Mediana	Máximo
PROM. TEMP. MÍN. (°C) A	32	15.338	1.083	13.100	15.294	18.933

**Estadísticos descriptivos: PROM. TEMP. MÁX. (°C) ANUALES**

Variable	Conteo					
	total	Media	Desv.Est.	Mínimo	Mediana	Máximo
PROM. TEMP. MÁX. (°C) AN	32	27.113	1.151	25.650	26.928	29.442

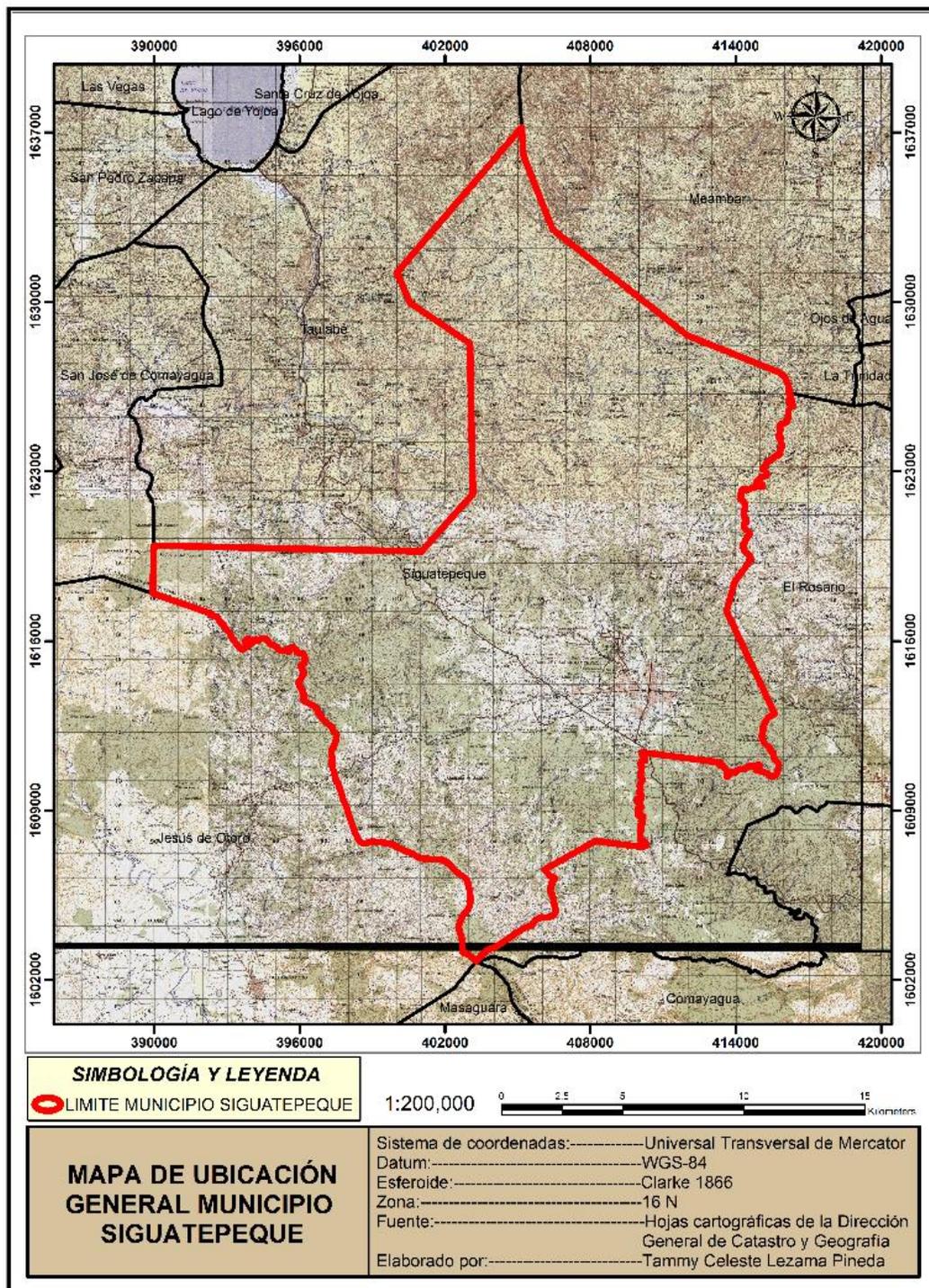
**Estadísticos descriptivos: PROM. TEMP. MED. (°C) ANUALES**

Variable	Conteo					
	total	Media	Desv.Est.	Mínimo	Mediana	Máximo
PROM. TEMP. MED. (°C) AN	32	21.226	0.973	20.004	20.948	23.938

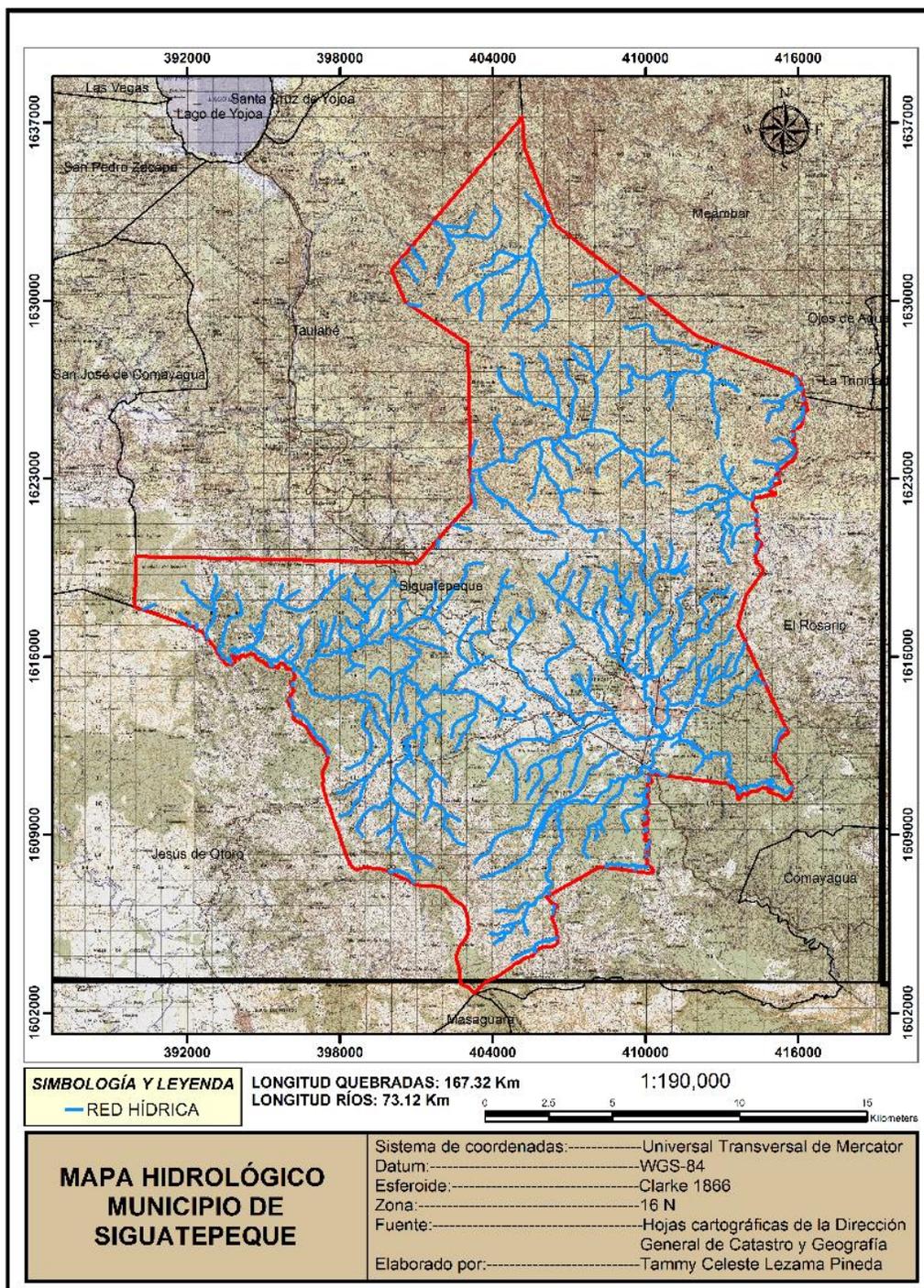
**Estadísticos descriptivos: PROM. PRECIPITACIÓN ANUAL (mm)**

Variable	Conteo					
	total	Media	Desv.Est.	Mínimo	Mediana	Máximo
PROM. PRECIPITACIÓN ANUA	32	1144.3	209.9	779.3	1104.6	1604.9

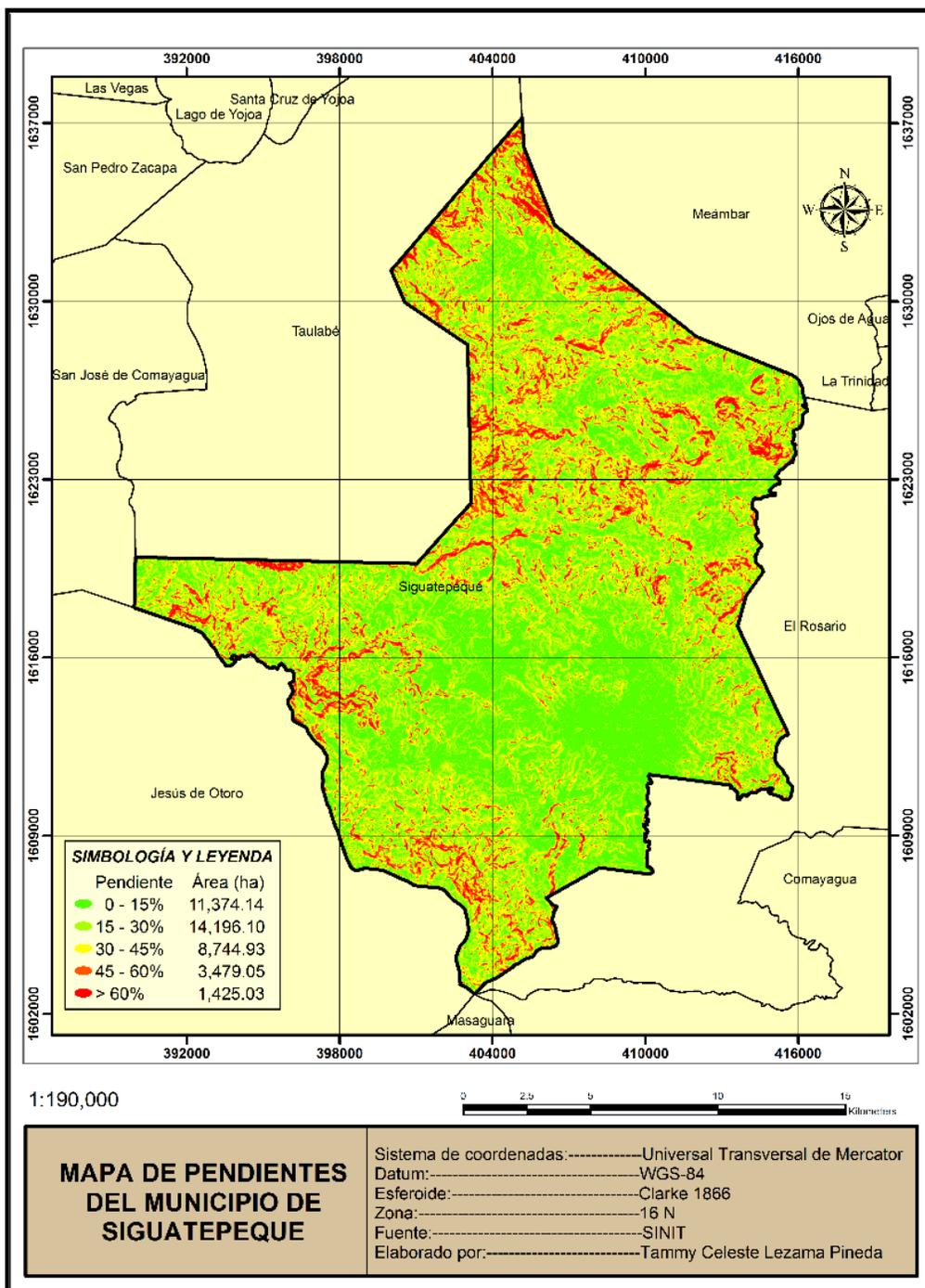
Anexo 27. Mapa de ubicación general del municipio de Siguatepeque



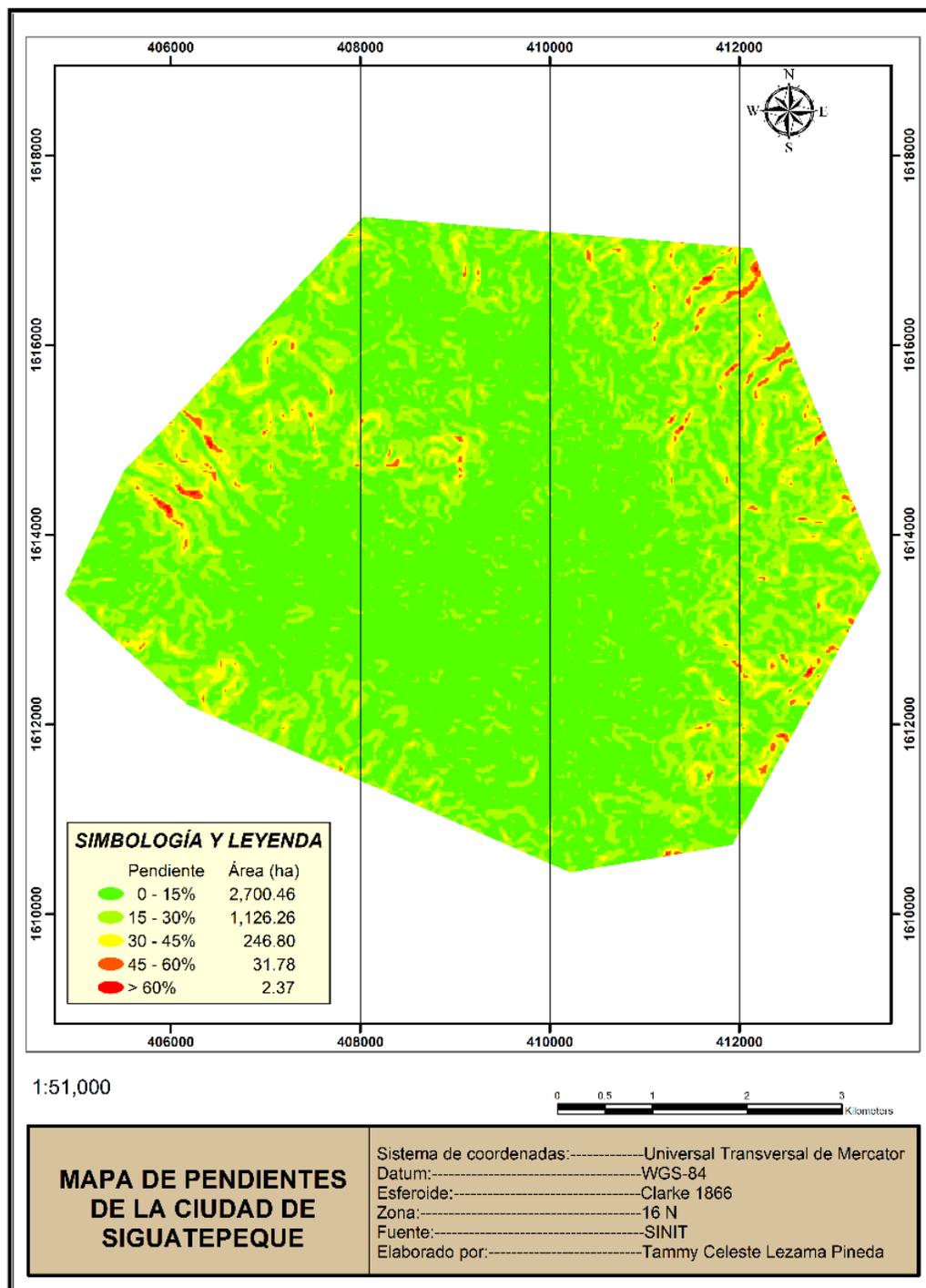
Anexo 28. Mapa de la red hídrica del municipio de Siguatepeque



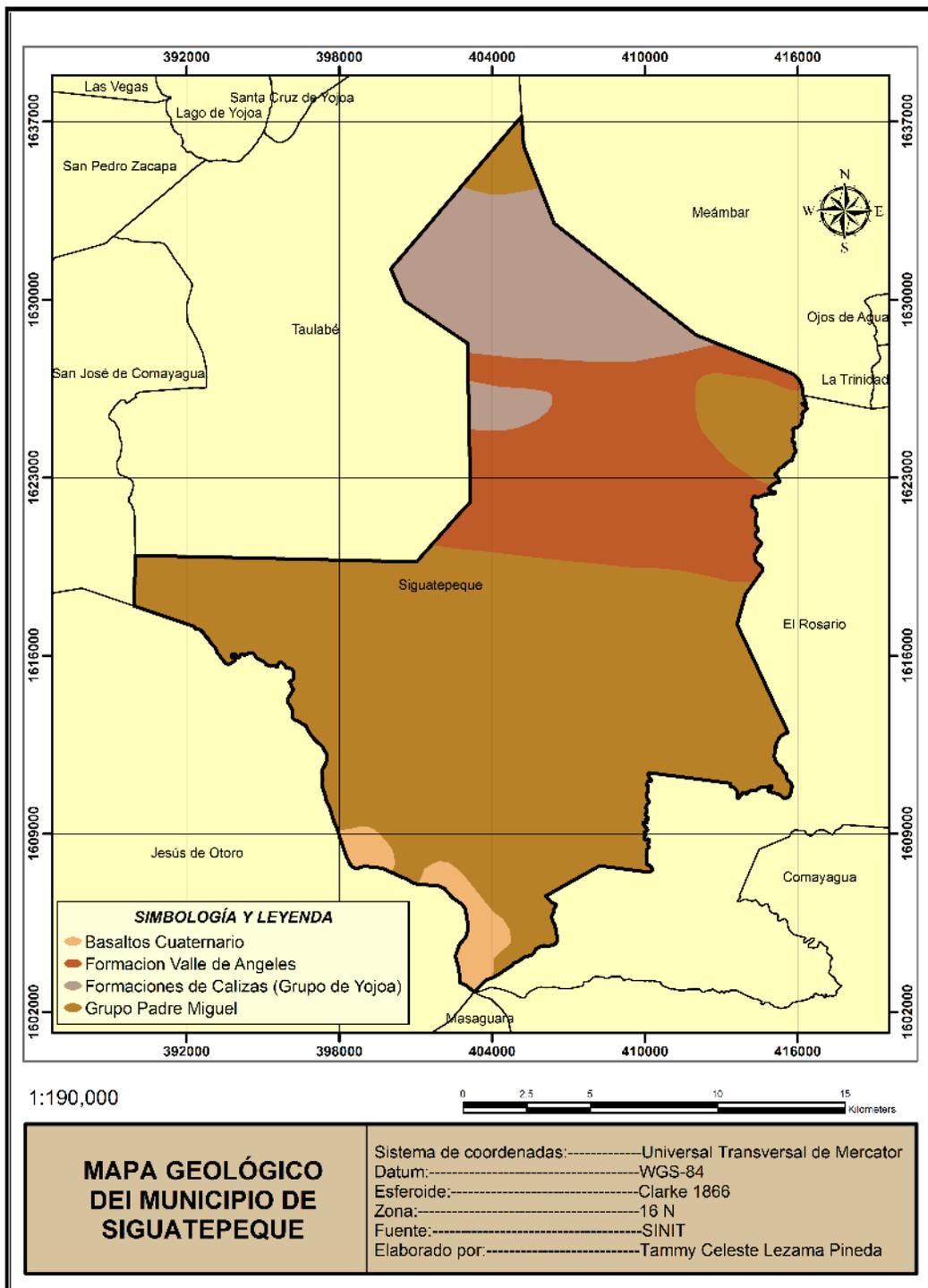
Anexo 29. Mapa de pendientes del municipio de Siguatepeque



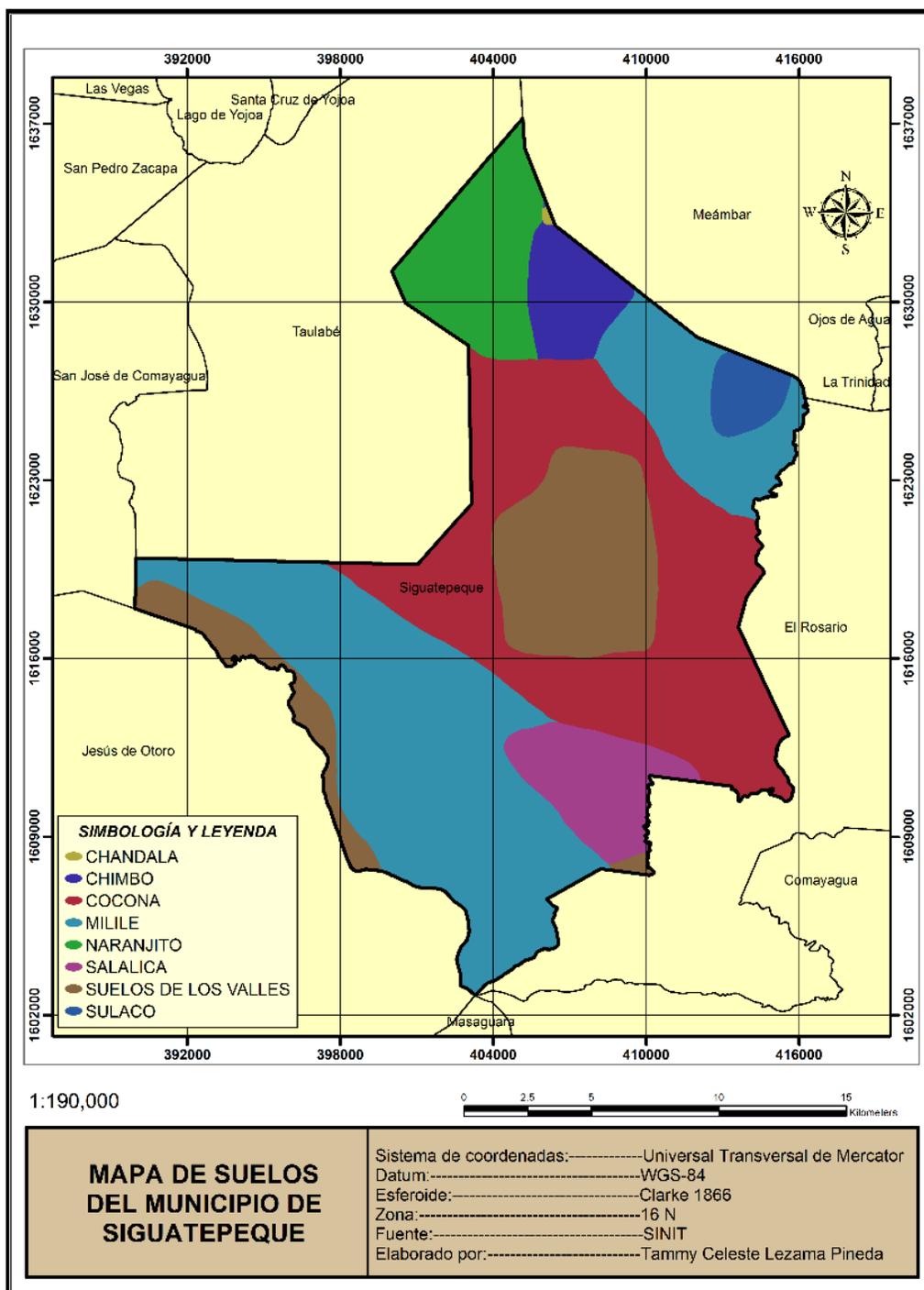
### Anexo 30. Mapa de pendientes de la ciudad de Siguatepeque



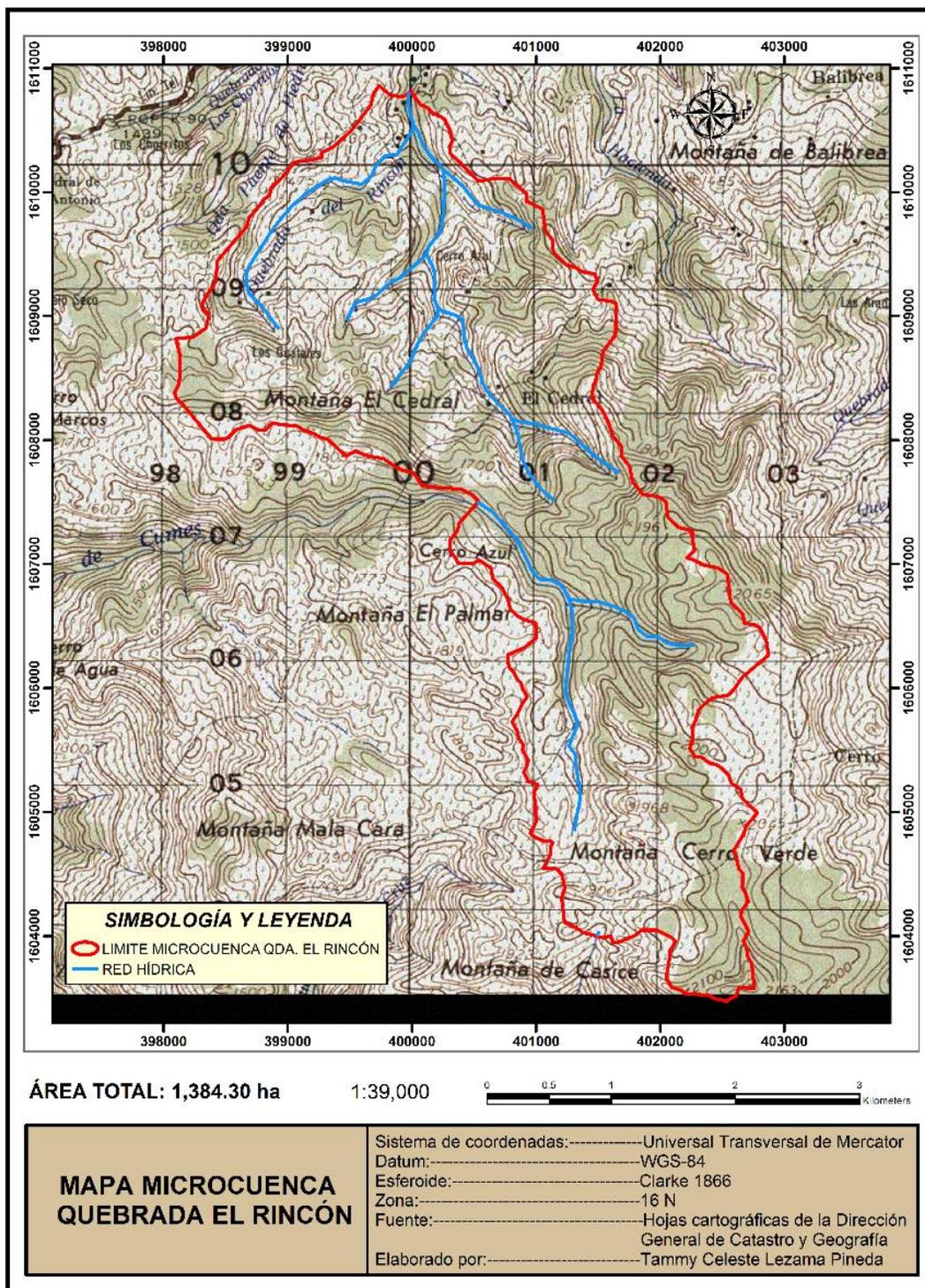
Anexo 31. Mapa geológico del municipio de Siguatepeque



Anexo 32. Mapa de suelos del municipio de Siguatepeque

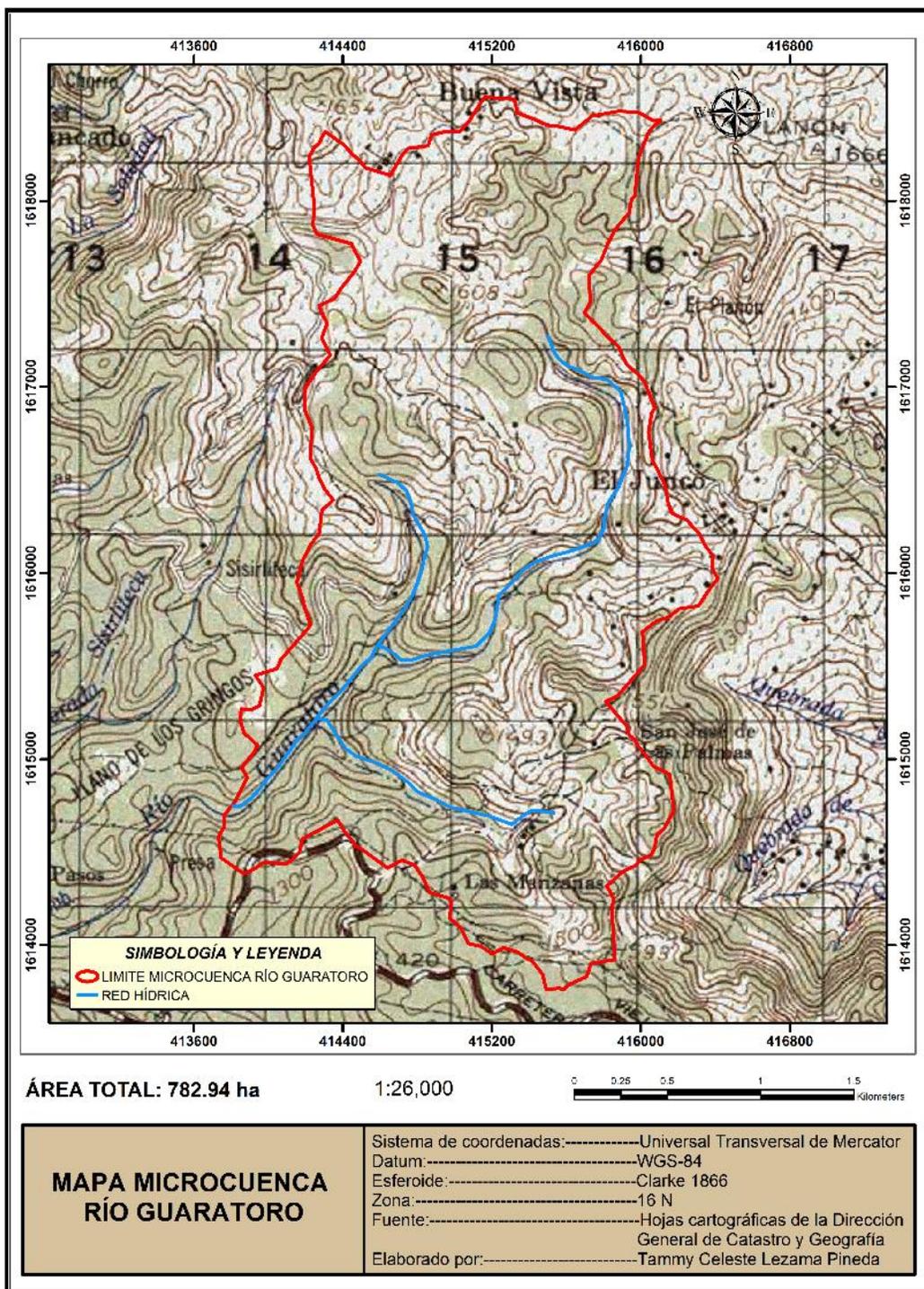


Anexo 33. Mapa de ubicación de la Microcuenca Quebrada El Rincón





Anexo 35. Mapa de ubicación de la Microcuenca Río Guaratoro



### Anexo 36. Imágenes Microcuenca Quebrada El Rincón



Quebrada El Rincón



Toma de puntos con GPS



Recolección de muestras para análisis de permeabilidad



Horizontes observados en la calicata realizada



Determinación del color de muestras obtenidas en campo



Recolección de muestras de agua

**Anexo 37. Imágenes Microcuenca Quebrada Guaypís**

Quebrada Guaypís



Vegetación observada



Toma de puntos con GPS



Muestras de suelo recolectadas



Recolección de muestras de agua

### Anexo 38. Imágenes Microcuenca Río Guaratoro



Río Guaratoro



Vegetación observada



Determinación del color de Muestras obtenidas en campo



Muestras de suelo recolectadas



Recolección de muestras de agua

