



“Por un Desarrollo Agrario  
Integral y Sostenible”

# UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES Y DEL AMBIENTE

## TRABAJO DE GRADUACIÓN

Evaluación del Potencial Biofísico para la Producción de Maíz (*Zea mays L.*), Frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) y Sorgo (*Sorghum bicolor L.*) en la Unidad Hidrográfica Quebrada Arriba (45-9516828), Yalagüina, Madriz, Nicaragua

### AUTORES

Br. Amarus A. Urbina Guillén

Br. Eddy V. Maradiaga Flores

### ASESORES

Dr. Matilde Somarriba Chang.

Ing. Alex Castellón Meyrat.

M Sc. Reynaldo Bismarck Mendoza

Managua, Nicaragua

Julio, 2019

## **HOJA DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL EXAMINADOR**

Este trabajo de graduación fue evaluado y aprobado por el honorable tribunal examinador designado por la decanatura de la facultad de recursos naturales y el ambiente como requisito parcial para optar al título profesional de:

### **INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

Miembros del tribunal examinador:

---

PhD. Fernando Mendoza Jara  
Presidente

---

M Sc. Edmundo Umaña Gómez  
Secretario

---

M Sc. Ariel Espinoza  
Vocal

Managua, Nicaragua.  
Julio 2019

SECCIÓN	INDICE DE CONTENIDO	PÁGINA
<b>DEDICATORIA</b> .....		i
<b>DEDICATORIA</b> .....		ii
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....		iii
<b>INDICE DE TABLAS</b> .....		iv
<b>INDICE DE FIGURA</b> .....		v
<b>INDICE DE ANEXOS</b> .....		vi
<b>RESUMEN</b> .....		vii
<b>ABSTRACT</b> .....		viii
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....		1
<b>2.1. Objetivo General</b> .....		3
<b>2.2. Objetivos específicos</b> .....		3
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....		4
<b>3.1. Descripción del sitio de estudio</b> .....		4
<b>3.2. Etapas de trabajo</b> .....		6
3.2.1. Etapa Pre-campo.....		6
3.2.2. Etapa de campo.....		8
3.2.3. Etapa post-campo .....		9
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSION</b> .....		16
<b>4.1. Caracterización de recurso Suelo</b> .....		16
4.1.1. Pendiente y relieve .....		16
4.1.2. Clasificación Taxonómica.....		18
4.1.3. Uso actual de los suelos .....		28
4.1.4. Clases de Capacidad de uso .....		31
4.1.5. Potencial de uso de la tierra .....		34
4.1.6. Conflictos de uso .....		37
<b>4.2. Caracterización morfométrica de la cuenca</b> .....		39
4.2.1. Pendiente media de la cuenca .....		40
4.2.2. Parámetros de red de drenaje .....		40
4.2.3. Densidad de drenaje y corriente .....		41
4.3. Comparación de disponibilidad de agua en el suelo y necesidad hídrica de cultivos tradicionales de la cuenca.....		42
<b>V. CONCLUSIONES</b> .....		54
<b>VI. RECOMENDACIONES</b> .....		55
<b>VII. BIBLIOGRAFIA</b> .....		58
<b>VIII. ANEXOS</b> .....		61

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo:

Al creador de los cielos y la tierra Dios, por permitirme culminar mi carrera de pregrado en la UNA de manera satisfactoria y sobre todo el haberme concedido relacionarme con personas que han servido de ejemplo e inspiración.

A mis abuelos Maternos **Juan Lucas Guillen** y **Dina Rodríguez Hurtado**, por haberme manifestado su amor, comprensión y apoyo desde mis primeros pasos hasta llegar a esta institución de educación superior.

Mis padres **Reyna Isabel Guillen** y **José Aurelio Urbina** por siempre guiarme por el buen camino y haber invertido tiempo, dedicación, cariño y esfuerzo; además de heredarme lo único que no se pierde en la vida el “patrimonio intelectual”.

De manera muy especial a mi esposa **Carla Michell Miranda** e hijos **Marcus y Mario Urbina Miranda** por haber sido el pilar fundamental de mi sustento físico y emocional en mi vida personal y trayectoria universitaria, y que de manera incondicional han estado siempre presente en esta etapa de mi vida.

A mis suegros: **La familia Alemán Cordero** por el amor, apoyo y consejos que contribuyeron a la estabilidad de mi formación emocional y competitiva.

Aquellos **compañeros universitarios** que a partir de aquel 19 de abril histórico en Nicaragua su condición pasó a ser de estudiantes a exiliados, heridos, presos políticos y en el peor de los casos fallecidos durante las manifestaciones pacíficas. Al igual que yo tenían el mismo sueño de terminar su carrera universitaria y servir para bien en la nación. Dios los tenga en su santa gloria y tenga misericordia de los que aún estamos presentes.

Amarus Aurelio Urbina Guillén

## **DEDICATORIA**

A Dios, que siempre me dio sabiduría, perseverancia y fuerzas para salir adelante en el contexto académico, emocional y social de mi vida. Y por permitirme culminar mi formación profesional.

A Padres, Pablo Eddy Madariaga y Concepción Flores porque siempre me brindaron su apoyo desde permitirme vivir, mi primer biberón, la enseñanza de mis primeras letras, colores y números hasta; los valores y principios que han formado el joven que hoy en día soy.

A mi pareja Gladys Vanessa Largaespada e hijo, “Eddicito” F. Maradiaga Cabrera, que han sido el motor de arranque y el estímulo para avanzar y alcanzar mis metas y vencer los obstáculos que la vida me ha puesto en el camino.

A mi Tio, Julio Flores, quien con paciencia y excelente catedra, despertó en mí el interés y amor en las ciencias puras como las matemáticas y la física.

A Catholic Relief Services (CRS), por su apoyo incondicional en el proceso de elaboración de Tesis.

A mi Compañero de Tesis Amarus A. Urbina por ser buen amigo y compañero de tesis que, a pesar de diferencias de personalidad, contribuyó significativamente en el desarrollo de nuestro proyecto de investigación.

Y, por último, pero no menos importante, dedico esta investigación a los mártires de la rebelión e insurrección cívica de abril, que dieron su vida en defensa de la autonomía universitaria, la democracia, libertad de expresión la justicia..... ¡¡Por una mejor Nicaragua!!

**Eddy V. Maradiaga Flores**

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios Padre Celestial:

Por darnos el entendimiento y la sabiduría para la realización de nuestro trabajo de graduación e iluminarnos en todos los momentos de nuestra vida.

A los que laboran en Decanatura (FARENA):

Dr. Matilde Somarriba, por sus gestiones y reconocimientos en los procesos enseñanza aprendizaje de la facultad.

A nuestro Docentes Asesores:

Nuevamente a la Dr. Matilde Somarriba, el Ing. Alex Castellón e Ing. MSc. Bismark Mendoza, por sus recomendaciones técnicas y humanas desde el aula de clase hasta el asesoramiento de esta tesis.

A los docentes del Departamento de manejo de cuencas:

Dr. Efraín Acuña y Dr. Fernando Mendoza, Inge María Beck, por abrir las puertas del departamento para consultas, sugerencias y apoyo técnico-científico en ciencias de suelo y Sistemas de información Geográficas.

A los docentes del departamento de gestión ambiental:

Ing. Edmundo Umaña, Dr. Marta Orozco, por su apoyo técnico-científico en las ciencias del agua e hidrografía.

Amarus A. Urbina Guillén

Eddy V. Maradiaga Flores

## INDICE DE TABLAS

TABLA	PÁGINA
<b>Tabla 1.</b> Matriz de clasificación de conflictos de uso de suelo, 2019 .....	10
<b>Tabla 2.</b> Sistema de clasificación de rangos de tiempo de concentración .....	12
<b>Tabla 3.</b> Clase y rangos de pendiente predominante en la unidad hidrográfica Quebrada Arriba ....	16
<b>Tabla 4.</b> Distribución de grupos Taxonómicos de suelos que predominan en la unidad hidrográfica Quebrada Arriba.....	18
<b>Tabla 5.</b> Balance hídrico (mm) actual de la unidad hidrográfica Quebrada Arriba, municipio de Yalagüina, Madriz. 2019.....	43
<b>Tabla 6.</b> Balance hídrico (mm) según el modelo pesimista RCP 8.5, para el año 2030 de la unidad hidrográfica Quebrada Arriba, Yalagüina, Madriz. 2019 .....	45
<b>Tabla 7.</b> Balance hídrico (mm) según el modelo pesimista RCP 8.5 para el año 2040 de la unidad hidrográfica Quebrada Arriba, Yalagüina, Madriz. 2019 .....	47
<b>Tabla 8.</b> Balance hídrico (mm) según el modelo pesimista RCP 8.5 para el año 2050 de la unidad hidrográfica Quebrada Arriba, Municipio de Yalagüina. ....	49
<b>Tabla 9.</b> Necesidad de agua para el cultivo de maíz en época de primera .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>Tabla 10 .</b> Necesidad de agua para el cultivo de frijol en época de primera .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>Tabla 11.</b> Necesidad de agua para el cultivo de Sorgo en época de primera.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>Tabla 12.</b> Necesidad de agua para el cultivo de maíz en época de postrera .....	52
<b>Tabla 13.</b> Necesidad de agua para el cultivo de frijol en época de postrera .....	52
<b>Tabla 14.</b> Necesidad de agua para el cultivo de sorgo en época de postrera.....	53

## INDICE DE FIGURA

FIGURA	PÁGINA
<b>Figura 1.</b> Mapa de macrolocalización de la Unidad Hidrográfica Quebrada Arriba, Yalagüina, 2019 .....	5
<b>Figura 2.</b> Mapa de puntos de muestreo de suelo, Cuenca Quebrada Arriba, Yalagüina, Madriz. 2019 .....	7
<b>Figura 3.</b> Esquema metodológico de la investigación .....	15
<b>Figura 4.</b> Mapa de pendiente. Cuenca Quebrada Arriba, Yalagüina, Madriz, 2019.....	17
<b>Figura 5.</b> Perfil representativo del subgrupo taxonómico “ <i>Typic Argiustolls</i> ”, Yalagüina, Madriz. 2019 .....	19
<b>Figura 6.</b> Perfil representativo del subgrupo taxonómico “ <i>Typic Calciusteps</i> ”, Yalagüina, Madriz. 2019 .....	20
<b>Figura 7.</b> Perfil representativo del subgrupo taxonómico “ <i>Typic Haplustepts</i> ”, Yalagüina, Madriz. 2019 .....	22
<b>Figura 8.</b> Foto del perfil representativo del subgrupo taxonómico “ <i>Typic Haplustalf</i> ”, Yalagüina, Madriz. 2019 .....	24
<b>Figura 9.</b> Paisaje representativo del subgrupo taxonómico “ <i>Typic Usthorthens</i> ”, Yalagüina, Madriz. 2019 .....	25
<b>Figura 10.</b> Mapa de subgrupos taxonómicos de suelo para la unidad hidrográfica Quebrada Arriba, Yalagüina, Madriz. 2019.....	27
<b>Figura 11.</b> Mapa de Uso actual del suelo, Cuenca Quebrada Arriba, Yalagüina, Madriz. 2019 .....	30
<b>Figura 12.</b> Mapa de clases de capacidad de uso de los suelos de la Unidad Hidrográfica Quebrada Arriba, Yalagüina, Madriz. 2019.....	33
<b>Figura 13.</b> Mapa potencial de uso la tierra de la Unidad Hidrográfica Quebrada Arriba, Yalagüina, Madriz. 2019 .....	36
<b>Figura 14.</b> Mapa de conflictos de uso en la Unidad Hidrográfica Quebrada Arriba, Yalagüina, Madriz. 2019 .....	38
<b>Figura 15.</b> Curva hipsométrica de la Unidad Hidrográfica Quebrada Arriba, Yalagüina, Madriz. 2019 .....	39
<b>Figura 16.</b> Balance hídrico actual para la unidad hidrográfica Quebrada Arriba, Yalagüina, Madriz. 2019 .....	43
<b>Figura 17.</b> Periodos de exceso o deficiencia de agua proyectados para el año 2030 para la unidad hidrográfica Quebrada Arriba, Yalagüina, Madriz. 2019 .....	45
<b>Figura 18.</b> Periodos de exceso o deficiencia de agua proyectados para el año 2040, para la unidad hidrográfica Quebrada Arriba.....	47
<b>Figura 19.</b> Periodos de exceso o deficiencia de agua proyectados para el año 2050 para la unidad hidrográfica Quebrada Arriba. Yalagüina 2019.....	49

## INDICE DE ANEXOS

ANEXO	PÁGINA
<b>Anexo 1.</b> Descripción de perfil representativo del Subgrupo Typic Haplusteps.....	61
<b>Anexo 2.</b> Descripción del Perfil representativo del Subgrupo Typic Argiustolls .....	62
<b>Anexo 3.</b> Descripción del Perfil representativo del Subgrupo Typic Haplustalf. ....	63
<b>Anexo 4.</b> Descripción del Perfil representativo del Subgrupo Typic Calciustepts .....	64
<b>Anexo 5.</b> Sistema de clasificación del tipo de relieve en función al tipo de pendiente .....	65
<b>Anexo 6.</b> Formato para determinar curva Hipsométrica.....	65
<b>Anexo 7.</b> Modelo de curvas hipsométricas.....	66
<b>Anexo 8.</b> Clases de drenaje según densidad .....	66
<b>Anexo 9.</b> Descripción geomorfológica de unidades de suelo .....	67
<b>Anexo 10.</b> Unidades hidrográficas, delimitadas y codificadas bajo la metodología Pfastetter, nivel 7 .....	68
<b>Anexo 11.</b> Mapa de propuesta de uso de la tierra. ....	69

## RESUMEN

Con el propósito de evaluar el potencial biofísico para la producción de maíz (*Zea mays L.*), frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) y sorgo (*Sorghum bicolor L.*) en la unidad hidrográfica Quebrada Arriba (No 45-9516828), localizada en Yalagüina, Nicaragua, se realizó el análisis multicriterio de factores físico-naturales, utilizando el marco del proyecto "Agricultura, Suelo y Agua" (ASA) del Catholic Relief Services (CRS). Esto implicó realizar un levantamiento de suelo a escala semi-detalle, para determinar potenciales de uso, taxonomía de los suelos y análisis de las características morfométricas que permitiera conocer los potenciales procesos erosivos en la Cuenca. A la vez, se realizó un pronóstico del déficit de agua para los próximos 30 años, utilizando datos de temperatura y precipitación promedio a través de modelos climáticos (MarkSim, RCP 8.5). Esta investigación también considera las necesidades hídricas de los cultivos en mención de la Cuenca Quebrada Arriba (Método FAO, 1977). El estudio evidencia que la unidad hidrográfica está siendo utilizada por encima de su potencial de uso en un 67% de su área total; dado que se cultiva granos básicos en suelos de vocación forestal. A la vez, estos cultivos presentan un pronóstico negativo en la disponibilidad de agua para el año 2050, con alto riesgo a la erosión de suelos, por presentar la cuenca una alta densidad de drenaje y una curva hipsométrica con propiedades inestables. Por lo que es recomendable invertir en investigaciones enfocadas en estrategias de conservación de suelo y agua, y estudiar los factores de presión existente sobre los recursos naturales de la unidad hidrográfica.

**Palabras Claves:** Escenarios climáticos, morfometría, balance hídrico, necesidad hídrica, taxonomía de suelo, vocación forestal

## **ABSTRACT**

In order to evaluate the biophysical potential for the production of maize (*Zea mays* L.), beans (*Phaseolus vulgaris* L.) and sorghum (*Sorghum bicolor* L.) in the Quebrada Arriba hydrographic unit (No 45-9516828), located at Yalagüina, Nicaragua, a multicriteria analysis of physical-natural factors was carried out, using the framework of the “Agriculture, Soil and Water” (ASA) project of the Catholic Relief Services (CRS). This involved carrying out a soil survey on a semi-detailed scale, to determine use potentials, taxonomy of the soils and analysis of the morphometric characteristics that would allow us to know the potential erosive processes in the Basin. At the same time, a forecast of the water deficit was made for the next 30 years, using temperature and average rainfall data through climate models (Mark Sink, RCP 8.5). This research also considers the water needs of the crops mentioned in the Quebrada Arriba Basin (FAO Method, 1977). The study shows that the hydrographic unit is being used above its potential for use in 89% of its total area; since basic grains are cultivated in soils of forest vocation. At the same time, these crops have a negative prognosis in the availability of water by 2050, with a high risk of soil erosion, as the basin has a high drainage density and a hypsometric curve with unstable properties. Therefore, it is advisable to invest in research focused on soil and water conservation strategies and study the existing pressure factors on the natural resources of the hydrographic unit.

**Keywords:** Climatic model, morphometry, water balance, water demand for crops, soil taxonomy, forest vocation

## **I. INTRODUCCIÓN**

La degradación del medioambiente, producto de una inadecuada interacción entre el ser humano y la naturaleza, está ocasionando significativas transformaciones en la estructura y comportamiento de los ecosistemas (Milán Pérez, 2016). El desequilibrio medioambiental se manifiesta en procesos de degradación de gran magnitud, que hacen sinergia con las amenazas naturales aumentando su complejidad, extensión e impacto. Bajo este contexto, el Catholic Relief Services (CRS) promueve el enfoque de agua y suelo para la agricultura (ASA), que prioriza la protección del suelo, y el uso y manejo sostenible del agua. Este enfoque fortalece las capacidades de actores locales por medio del mejoramiento de los medios de vida, tomando como referencia el agroecosistema. Para escalar el enfoque ASA, el CRS promueve acciones conjuntas con aliados de instituciones del estado, el sector privado, agencias de cooperación, asociaciones de productores y universidades. En este sentido, el convenio UNA-ASA-CRS tiene por objeto el desarrollo de proyectos de investigación, enfocados en la generación de información, con recomendaciones técnicas ajustadas al contexto social, político, económico y ambiental de unidades territoriales del corredor seco de Nicaragua.

En Nicaragua y en particular en el corredor seco se observa una fuerte fragmentación de del bosque tropical seco (Bendaña, 2018); esto se debe al conjunto de factores ambientales afectados en procesos degradativos naturales y antrópicos, actualmente en el país se está generando amenazas sobre los recursos suelo y agua. La deforestación y el cambio de usos en el suelo para fines productivos, exacerbando la erosión, ocasionando la pérdida de la capacidad productiva de la tierra, reduciendo el desarrollo vegetativo y con ello limitando a todo el ecosistema, además, disminuye la recarga de agua subterránea lo que aumenta la amenaza de inundación debido al incremento de la escorrentía y arrastre de sedimentos, etc.

Adicionalmente, la falta de información agroclimática a los agricultores, le genera mucha incertidumbre a la hora de tomar decisiones productivas. Esto se debe a que el país no cuenta con suficientes estaciones agrometeorológicas que permita comprender el nivel de riesgo de los agricultores ante diferentes escenarios de variabilidad climática. “Centro América al ser

un Istmo estrecho entre dos continentes y entre los océanos Pacífico y Atlántico, Es una región recurrentemente afectada por sequías, lluvias intensas, ciclones y el fenómeno El Niño-Oscilación Sur (ENOS) (CEPAL, 2015). Según el mapa nacional de amenazas por sequía de INETER del 2015, los niveles más altos asociados al grado de severidad de la sequía corresponde al corredor seco de Nicaragua. La disminución de las precipitaciones es importante en la región del pacifico, central y norte del país, afectando considerablemente a los municipios de Nueva Segovia, Madriz, Estelí, Jinotega, Matagalpa, Boaco y Managua.

Finalmente, tanto los tomadores de decisión como instituciones y actores locales carecen de información detallada de las propiedades y características de los suelos, que son necesarias para desarrollar iniciativas ambientales y productivas sin deteriorar dicho recurso. El último esfuerzo nacional fue el mapa de suelos y capacidad de uso a escala 1:750,000, publicada por INETER en 2015, sin embargo, la información cartográfica de referencia nacional no representa información de utilidad para entidades gestoras de los suelos. El departamento de agricultura de los Estados Unidos (USDA) sugiere desarrollar en áreas considerablemente pequeñas, estudios edáficos semidetallados a escala 1: 20,000. Porque permite determinar variabilidad espacial de características fisicoquímicos, según su geomorfología y procesos de génesis de suelo, llegando con certeza hasta el grado de subgrupos taxonómicos. Bajo este antecedente, el presente documento expone el proyecto de investigación “Evaluación de las Potencialidades y Limitantes Físicas para la Producción de Maíz, Frijol y Sorgo en la Unidad Hidrográfica Quebrada Arriba (45-9516828), Localizada en el Municipio de Yalaguina, Departamento de Madriz, Nicaragua.”

La importancia de este trabajo es la generación de información del área en estudio, para que incida en mejoras oportunas en la calidad de vida de los pobladores de la unidad hidrográfica Quebrada Arriba, por medio de la generación de información de interés para la gestión sostenible del paisaje, dado que un territorio bien ordenado y administrado, influye positivamente en sectores productivos que dependen de las condiciones del medio en el que se desarrollan. Además, es oportuno mencionar que este trabajo llena vacíos de información sobre las características y potencialidades de los suelos de la unidad hidrográfica Quebrada Arriba.

## **II. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo General**

Evaluar el potencial biofísico para la producción de maíz (*Zea mays L.*), frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) y sorgo (*Sorghum bicolor L.*) en la unidad hidrográfica Quebrada Arriba (No 45-9516828), localizada en el municipio de Yalagüina, departamento de Madriz, Nicaragua.

### **2.2. Objetivos específicos**

Determinar el potencial del suelo para la producción de granos básicos, a partir de las propiedades físicas-químicas y el relieve.

Estimar el potencial de erosión hídrica de la unidad hidrográfica a partir de sus parámetros morfométricos.

Determinar la adaptabilidad de los rubros maíz (*Zea mays L.*), frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) y sorgo (*Sorghum bicolor L.*) a las condiciones climáticas de la cuenca comparando los requerimientos hídricos de los cultivos con la disponibilidad de agua en el suelo durante las épocas primera y postrera actuales.

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

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

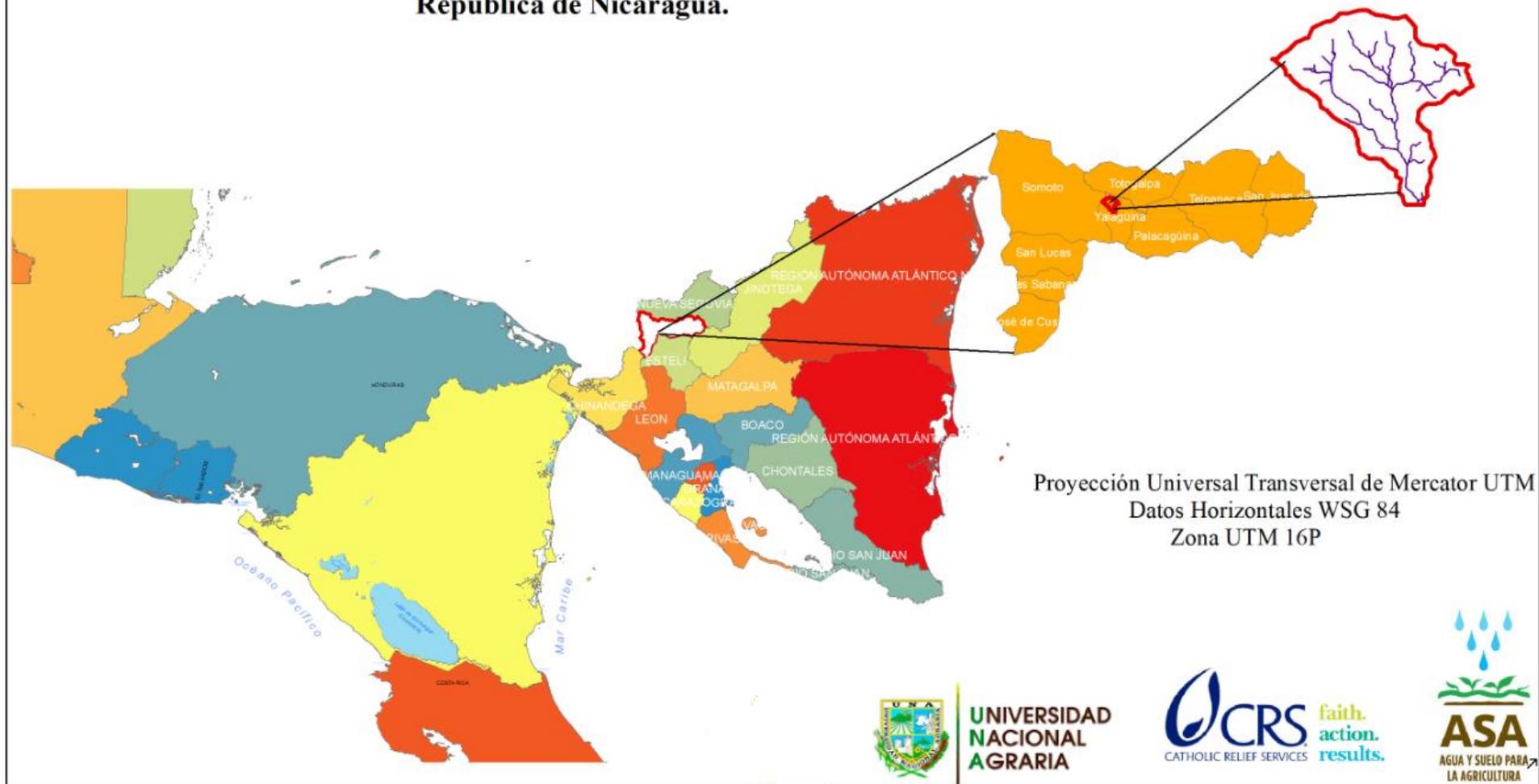
La unidad hidrográfica Quebrada Arriba se encuentra localizada en el departamento de Madriz, y corresponde administrativa y geográficamente, al municipio de Yalagüina en las coordenadas 13<sup>0</sup>29' latitud N 86<sup>0</sup>30' longitud O (alcaldía municipal de Yalagüina 2008). El municipio de Yalagüina tiene una extensión territorial de 70.9 km<sup>2</sup> y una elevación aproximada entre los 500 y 694 m, con ecosistemas montañosos que en la actualidad se han venido alterando producto de la intervención antropogénica en el municipio (INIFOM, 2012).

Según INETER (2014), la unidad hidrográfica quebrada arriba pertenece a la cuenca del Río Coco (No 45- 9516). Los ríos y quebradas no tienen un caudal de importancia llegando incluso a secarse en verano, además el desequilibrio del curso del agua se debe a la deforestación extensiva la unidad, la fabricación de ladrillos y tejas a orillas de los ríos y quebradas y a esto se le agrega el uso diario de leña.

El territorio se caracteriza por su relieve de montaña que abarca aproximadamente el 80% del territorio municipal presentando en dominio una topografía inclinada con rangos de pendientes entre los 30 y 75%, además la temperatura promedio anual oscila entre los 23 C<sup>0</sup> y 24 C<sup>0</sup> grados (INIFOM, 2012).

Dentro de la geomorfología se encuentra que este sitio se ubica geológicamente en la provincia geológica del norte cubierta por una variedad de rocas (Metamórficas, Sedimentarias, Volcánicas y ígneas intrusivas). Es un territorio expuesto a amenazas por sequía, deslizamientos, inundaciones y un nivel medio de amenazas sísmicas, además de coincidir con el eje de trayectoria de las depresiones tropicales que cruzan el sector noreste del territorio nacional (INIFOM, 2012).

**Mapa de Macrolocalización de la Unidad Hidrografica Quebrada Arriba (45-9516828),  
Pertenciente al Municipio de Yalaguina, Departamento de Madriz.  
Republica de Nicaragua.**



**Figura 1.** Mapa de macrolocalización de la Unidad Hidrográfica Quebrada Arriba, Yalaguina, 2019

## **3.2. Etapas de trabajo**

El marco metodológico de esta investigación está determinado por tres fases: Fase pre-campo, campo y post-campo. La fase de precampo corresponde a la captación de información secundaria de la unidad territorial en estudio, delimitación de la cuenca y planificación del levantamiento de suelo; la etapa de campo está determinada por la descripción de perfiles en la cuenca. Y el post-campo es el análisis de la información colectado en campo; la sistematización, procesamiento y generación de información geoespacial; así como la caracterización física y edáfica por medio de herramientas Sistemas de Información Geográfica (SIG) y manejo de bases de datos Excel.

### **3.2.1. Etapa Pre-campo**

La delimitación de la unidad hidrográfica Quebrada Arriba, se desarrolló a partir de la metodología de Otto Pfafstetter (Ver mapa en Anexo 10), que en la actualidad va constituyéndose en un standard de codificación de unidades hidrográficas y que la han venido adoptando países como Bolivia, Perú, Brasil, Colombia y Guatemala (Ruiz y Torres, 2008). La metodología Pfafstetter delimita cuencas hidrográficas con base en niveles de forma jerarquizada, permitiendo la codificación y subdivisión del territorio respetando la organización natural de los cursos de agua superficial (INETER, 2014).

La planificación del levantamiento de suelo fue acompañada con el método “Hiper cubo Latino Condicionado” (HLC). Este método consiste en el establecimiento de un sistema de muestreo aleatorio, y busca determinar la distribución y variabilidad espacial de los suelos con base a índices y mapas atributos del terreno; y a la vez, reducir costos y tiempo que requiere el trabajo de campo (Torres Gámez y Vázquez Méndez, 2017).

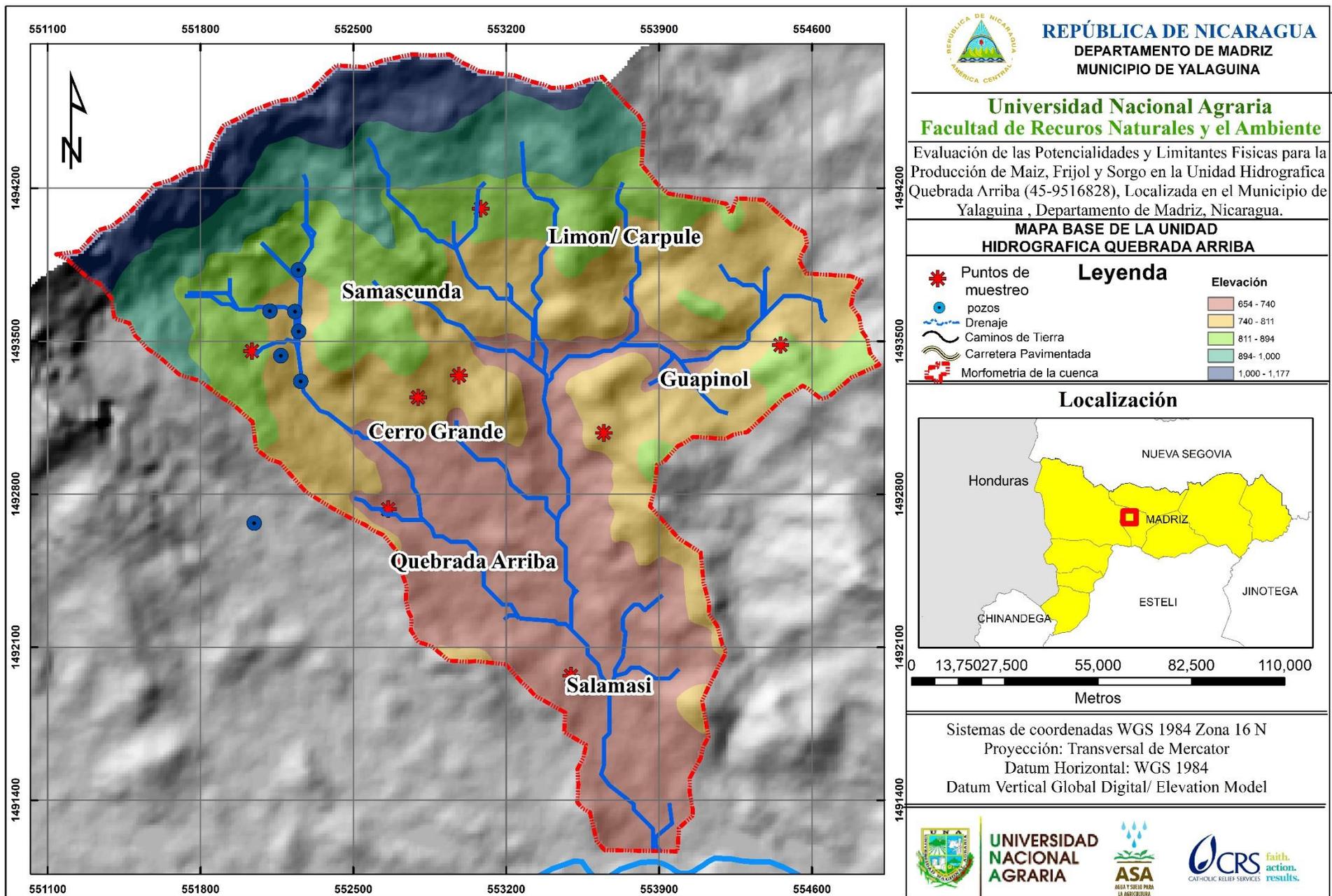


Figura 2. Mapa de puntos de muestreo de suelo, Cuenca Quebrada Arriba, Yalaguina, Madriz. 2019

### **3.2.2. Etapa de campo**

#### **Estudio del recurso suelo**

El estudio morfológico de un suelo exige la apertura de una calicata, que es una excavación. Para facilitar el trabajo, uno de sus frentes tiene de 70 a 100 cm de ancho, y su profundidad debe ser tal que permita llegar a comprender la organización del suelo como un todo, su génesis y respuesta frente a diversos usos. Una calicata tiene tres paredes verticales para poder observar bien el perfil y los horizontes y la otra inclinada o con escalones para facilitar la entrada (Porta Casanella, 2003).

Al iniciar el estudio de una calicata resulta ventajoso hacer una primera observación en los frentes y paredes laterales, con el objetivo de reconocer la posible variabilidad lateral. En este momento es preferible no limpiar las superficies, ya que la estructura se identifica mejor si el perfil ha tenido ocasión de secarse y, además, puede haber caracteres temporales, tales como eflorescencias salinas, que constituyen una información que podría perderse.

El proceso de descripción de perfil, se requiere limpiar cuidadosamente el perfil con un cuchillo de monte o instrumento análogo y, si se cree necesario, se profundiza horizontalmente. Se localizan los límites entre horizontes que se señalarán con el cuchillo y se anotará la profundidad de cada horizonte. Se describirán suficientes horizontes para dar una imagen clara del suelo, si bien se minimizarán las variaciones en la interpretación visual, para no realizar subdivisiones innecesarias. Se establecerán relaciones entre horizontes” (Porta Casanella, 2003).

En la etapa de campo se levantó información de las características morfológicas de las unidades hidrográficas Quebrada Arriba y se determinaron las propiedades internas como externas de 5 perfiles modales, determinados con HLC (toda esta información se integraron a formato de campo), también se geo referenciaron los sitios donde se realicen las calicatas y se evaluaron cambios en horizontes superficiales y sub-superficiales, indicadores de compactación de suelo y procesos erosivos en función de las características del sitio y la expertos del grupo de trabajo.

Durante la descripción de los perfiles de suelo se tomarán muestras de epipedones y endopedones de cada calicata, para su correspondiente análisis de laboratorio. Los análisis físico-químico a considerar son la textura, pH, MO, N, P y K, CIC, Saturación de base. El análisis de propiedades químicas de suelo se desarrolló en el laboratorio LABSA de la UNA.

### **3.2.3. Etapa post-campo**

#### **Caracterización del recurso suelo**

Durante el trabajo de gabinete, se clasificaron unidades taxonómicas de suelo con base en la descripción de perfiles modales y resultados de análisis de laboratorio, y a la vez se modelaron y geo-procesaron mapas de variables edáficas y morfológicas con SIG, donde se generarán unidades de mapeo como el mapa de subgrupos taxonómicos de suelo, mapa de uso actual, así como el mapa de capacidad de uso y uso potencial. La sobre posición y la sistematización de los atributos de esta información fueron datos de entrada para la generación de un mapa de confrontación de uso o conflictos de uso.

El mapa de subgrupos taxonómicos define las características del suelo con base en la geomorfología de la cuenca. Las unidades de suelo estudiadas están determinadas a partir de las condiciones climáticas y las propiedades interna de solum. El régimen de humedad representa la sucesión normal del estado de humedad y sequia a lo largo de un periodo de tiempo (Porta Casanellas, 2003).

El mapa de uso actual se generó con base en la digitalización de polígonos de uso con imágenes del software “*terra incognita*”. Terra incognita es un software libre que permite la descarga gratuita de imágenes de satélites de diversas fuentes mundiales de imágenes de satélite hasta una resolución espacial de 20 metros. La ventaja de terra incognita está en que facilita la selección de sistemas y formatos de coordenada y se ajusta al esquema de trabajo de los SIG.

El mapa de capacidad de uso se derivó de la agrupación de las unidades de suelo, atendiendo sus características productivas actuales, en dependencia de las limitaciones al uso agrícola que imponen las propiedades del suelo y el clima de la zona de estudio, que van desde clase I, suelos con pocas limitaciones o aptas para laboreo continuo, suelos que restringen el establecimiento de sistemas tradicionales agrícolas (clase III), hasta suelos inapropiados para cultivos (Clase VII Y VIII).

El mapa de uso potencial se definió con base en el mapa de capacidad de uso del suelo. Según las clases de capacidad agrologicas se establecieron áreas con aptitud agropecuaria y forestal según las condiciones ambientales de unidades homogéneas de tierra y la viabilidad y limitantes productiva en la cuenca. A partir de las categorías de uso potencial de la tierra del atlas nacional de suelo del 2015, se definieron 5 categorías de uso potencial. Mediante la sobre posición del mapa de subgrupos taxonómicos, pendiente y clase de capacidad y considerando la zona climática, se generó el mapa de uso potencial de la Unidad hidrográfica Quebrada Arriba.

El mapa de uso conflictos se determinó sobreponiendo el mapa de uso potencial y el mapa de uso actual del suelo de la cuenca, generando así una serie de conflictos que están determinados bajo la clasificación “adecuado, sub-utilizado y sobre utilizado”. En este sentido, se llevó el uso actual y el uso potencial de la cuenca a una matriz, donde se clasificaron los conflictos según el sistema de clasificación descrito anteriormente. Este cruce matricial junto la sobreposición de mapas de uso actual y uso potencial, generó el mapa de conflictos de uso.

**Tabla 1.** Matriz de clasificación de conflictos de uso de suelo, 2019

U. potencial U. actual	B1	B2	B3	B4
C1	A	A	SU	S
C2	A	SU	S	NA
C3	SU	SU	SU	A
C4	S	S	S	S

Fuente propia

A: Uso adecuado

C1...C4: Usos Actuales

NA: No aplica

SU: Sub-utilizado

B1...B4: Usos potenciales

S: Sobre-utilizado

INETER (2015) definen los suelos adecuado a usos concordantes con la potencialidad del suelo, mientras que los suelos subutilizados tienen que ver con el desaprovechamiento de la aptitud que este puede presentar, como es el caso de zonas que se encuentran con vegetación arbustivo o tacotales que pueden ser aptas para el establecimiento de sistemas productivos limpios y agroforestal. Y los suelos sobre utilizados describen espacios que limitan el desarrollo de cultivo debido a las condiciones topográficas y capacidad productiva de la tierra.

### **Características Morfométricas**

Los parámetros morfométricos fueron determinados a partir de ecuaciones hidrológicas, con el apoyo de los SIG, que consiste en el análisis espacial de los datos y la delimitación de la cuenca. Las ecuaciones hidrológicas determinaron: área, perímetro, pendiente promedio de la cuenca, longitud del cauce principal, longitud de la red hídrica, coeficiente de compacidad, densidad de drenaje y tiempo de concentración de las cuencas. Para obtención de los últimos tres parámetros se utilizaron las ecuaciones: Coeficiente de Compacidad de Gravelius, la densidad de drenaje por Horton, 1945; y el tiempo de concentración por Culvert Practice (1955). Ecuaciones que se detallan a continuación.

$$Cg = 0.28 * \left[ \frac{p}{\sqrt{A}} \right]$$

Donde, Cg: Coeficiente de Gravelius

P: Perímetro de la cuenca (km)

A: Área de la cuenca (km<sup>2</sup>).

$$Dd = \frac{L}{A}$$

Donde Dd es densidad de drenaje,

L= longitud total de los cauces (km)

A es el Área en km<sup>2</sup>

$$Tc = 0,000325 * \left( \frac{L^{0,77}}{S^{0,385}} \right) 60 \text{ Min}$$

Sustituyendo en la ecuación tenemos que:

Tc: tiempo de concentración (min)

L: longitud del cauce principal (m)

S: pendiente del cauce principal (m/m)

$$Tc = 0,000325 * \left( \frac{3950 M^{0,77}}{3 M/100M^{0,385}} \right) 60 \text{ Min}$$

$$Tc = 0,000325 * \left( \frac{3950^{0,77}}{0,03^{0,385}} \right) 60 \text{ Min}$$

**Tabla 2.** Sistema de clasificación de rangos de tiempo de concentración

Rangos de tiempo de concentración (min)	Clases
0 - 41,5	Rápido
41,6 - 83,2	Moderado
83,3 - 125,1	Lento

Adaptado de: López, 1997

El análisis hipsométrico es la representación gráfica de las elevaciones del terreno en función de las superficies correspondientes; Con base al análisis hipsométrico, se puede determinar fases de erodabilidad y la etapa evolutiva en que se encuentra una cuenca. La curva hipsométrica representa la relación curva-área-elevación donde el área se representa en porcentaje y que el 50% corresponde a la elevación media de la cuenca (Gámez Bonilla, 2010).

## **Balance hídrico y necesidad de agua para los cultivos más importantes de la unidad hidrográfica Quebrada Arriba**

El balance hídrico a nivel de unidad hidrográfica permite determinar periodos de déficit y excesos de agua en el suelo en los 12 meses del año a partir de la estimación Capacidad de retención de agua disponible de la zona susceptible de evapotranspiración (CRAD), que dependerá de la profundidad y propiedades físicas del suelo. El cual requiere de parámetros de suelo: Densidad aparente, textura, profundidad, capacidad de campo (CC), punto de marchites permanente (PMP), y contenido de elementos gruesos (volumen). La fórmula para determinar CRAD es:

$$CRAD = H * Da * \left( \frac{CC - PMP}{100} \right)$$

Dónde: CRAD= Capacidad de Retención de Humedad del Suelo (mm)

H= profundidad del suelo (cm) a la que llegan las raíces (cm)

Da= densidad aparente del suelo (g/cm<sup>3</sup>)

CC= Capacidad de Campo (%)

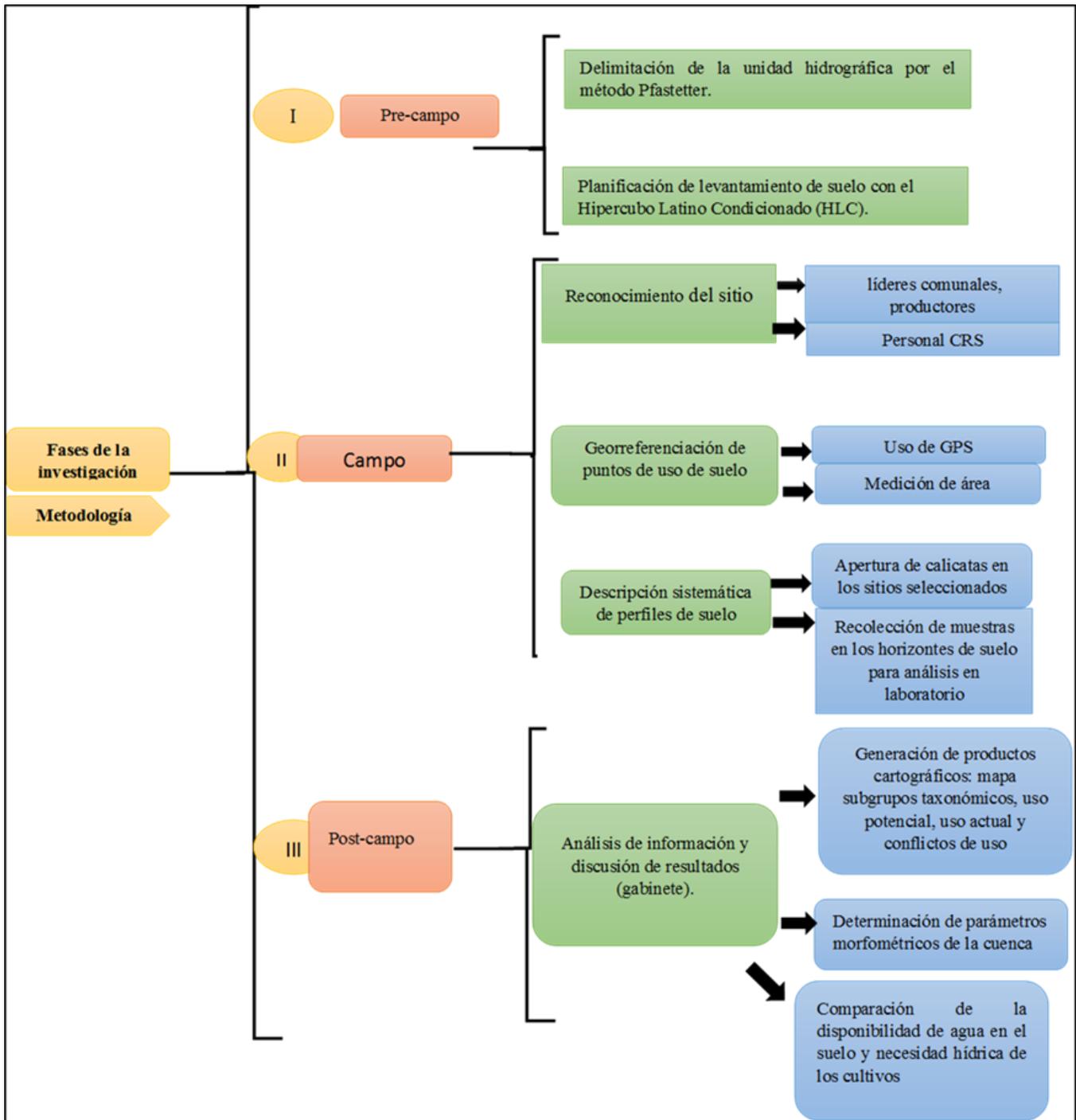
PMP= Punto de Marchites Permanente (%)

Luego de obtener el cálculo del CRAD, se procedió a determinar el balance hídrico. Este balance inicia con el cálculo de evapotranspiración potencial (ETP) y de información climática procedente de bases de datos de referencia mundial, analizadas a través de Worldclim, CHIRPS Y CGIARS. El método indirecto utilizado para la ETP fue Thornthwaite (1994). Los parámetros que considera el modelo son: precipitación, temperatura, evapotranspiración real y potencial, reserva de agua en el suelo, variación en la reserva, déficit y exceso de agua.

A partir del resultado del balance hídrico se procedió a estimar el déficit y excesos de agua, ante distintos escenarios climáticos, para 30 años (2030-2040-2050). La información base se obtuvo a partir de la aplicación de escenarios denominados trayectoria de concentración representativa (RCP, por sus siglas en ingles). Estos escenarios representan el forzamiento radiativo total calculado para el 2100 respecto al año 1750.

El escenario utilizado corresponde a un escenario con un nivel alto de emisiones de gases de efecto invernadero (936 ppm al año 2100) denominado RCP8.5, basados en la combinación de modelos de evaluación integradora, modelos climáticos simples, modelo de química de la atmosfera y modelos del ciclo de carbono. El resultado de esto es el aumento considerable de temperatura y disminución de las precipitaciones en un horizonte de 30 años en el territorio.

Para estimar la necesidad de agua de los cultivos más representativos de la unidad hidrográfica Quebrada Arriba, se tomó en cuenta los periodos de siembra y de cosecha tradicional de la zona de estudio. Los coeficientes de cultivos utilizados para determinar la demanda hídrica, considerando las diferentes etapas de desarrollo de los cultivos de maíz, frijol y sorgo, están publicados en el Estudio FAO Riego y Drenaje No.56 (2006). Con los coeficientes de cultivos se calcularon los valores de evapotranspiración actual y la necesidad de agua, restando la evapotranspiración de cultivo mensual con la lluvia efectiva. El análisis considera los periodos de déficit y excesos de agua en el suelo de la cuenca y la necesidad de agua de los cultivos en la época de primera y postrera.



**Figura 3.** Esquema metodológico de la investigación

## IV. RESULTADOS Y DISCUSION

### 4.1. Caracterización de recurso Suelo

#### 4.1.1. Pendiente y relieve

La mayor parte de los suelos de la unidad hidrográfica Quebrada Arriba (QA) están conformadas por un terreno con pendientes que van desde superficies escapadas a extremadamente escarpada, y se distribuye en la parte media y alta de la cuenca, lo que favorece potenciales procesos erosivos en los sistemas tradicionales de cultivos en la zona. En cambio, los terrenos con pendiente plana constituyen el 1.2 por ciento (7.78 hectáreas) del área total y se concentran en la parte baja de la cuenca.

Según la tabla 3 y figura 4, en la unidad hidrográfica QA se puede observar las áreas de porcentaje de pendiente que se encuentran dentro de la cuenca. Las pendientes que más predominan son las que oscilan entre los 15 y 30 por ciento de pendiente con un área total 203.89 hectáreas y corresponde al 31,36 por ciento del área total de cuenca.

La vocación natural de la cuenca Quebrada Arriba establece, según las pendientes predominantes, que es apta para conservación del recurso forestal, dado que la suma de los intervalos de pendientes corresponde la mayor parte de la unidad territorial del área de estudio.

**Tabla 3.** Clase y rangos de pendiente predominante en la unidad hidrográfica Quebrada Arriba

Pendientes	clase	Área (Ha)	Porcentaje (%)
0-2	Plano a casi plano	7.78	1.20%
2-4	Suavemente inclinado	11.79	1.81%
4-8	Inclinado	45.37	6.98%
8-15	Moderadamente escarpado	80.79	12.43%
15-30	Escarpado	203.89	31.37%
30-45	Muy escarpado	183.61	28.25%
>45	Extremadamente escarpado	117.20	18.03%
TOTAL		650	100%

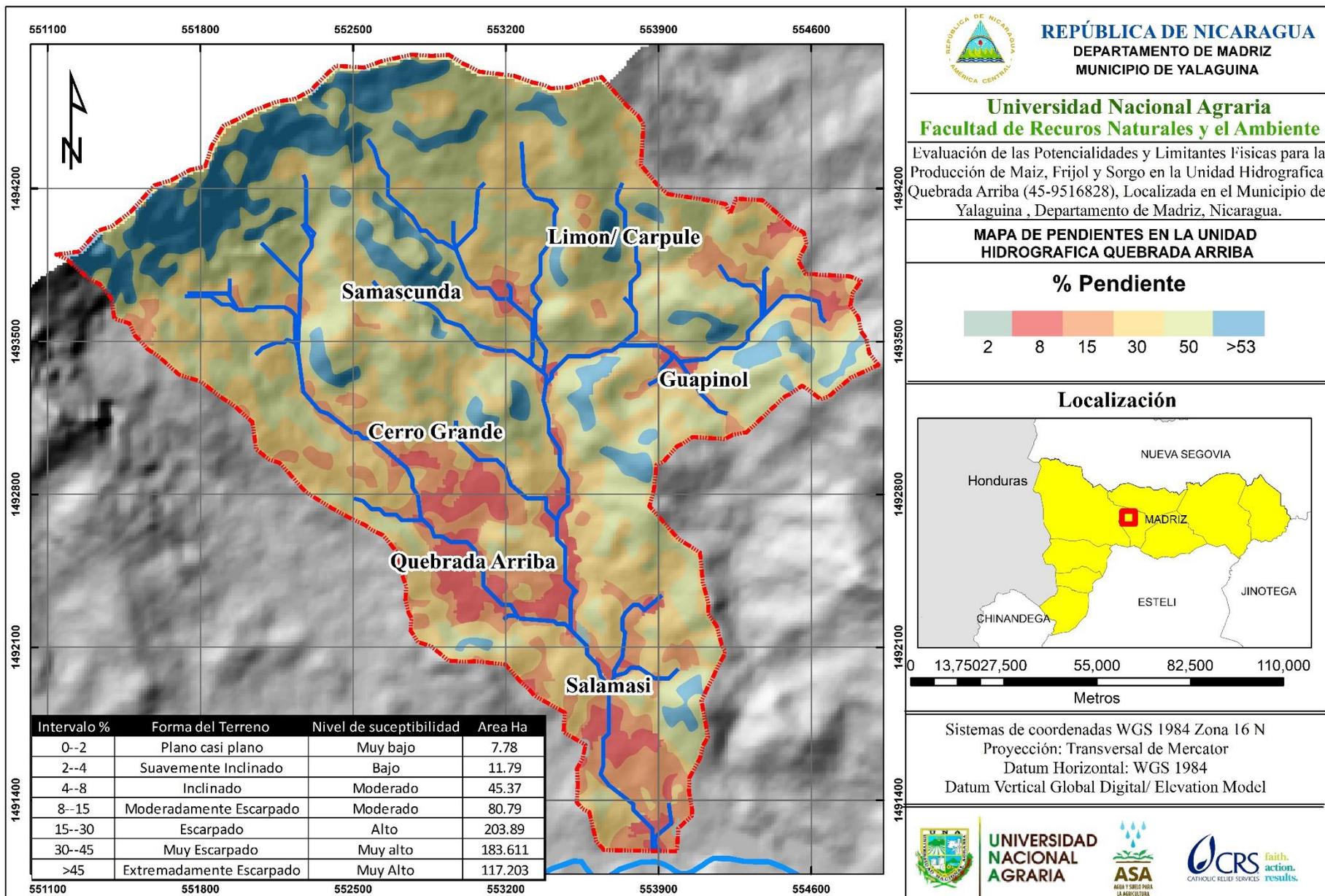


Figura 4. Mapa de pendiente. Cuenca Quebrada Arriba, Yalaguina, Madriz, 2019

#### 4.1.2. Clasificación Taxonómica

Los suelos de la cuenca Quebrada Arriba deben su origen y clasificación a la influencia combinada de factores que actúan sobre los materiales parentales depositados como son: el clima, relieve, roca madre, vegetación, organismos vivos y el tiempo. En esta cuenca se identificaron los siguientes subgrupos taxonómicos: *Typic Usthorthens*, *Typic Argiudolls*, *Typic Calciusteps*, *Typic Haplustalf* y *Typic Haplusteps*.

**Tabla 4.** Distribución de grupos Taxonómicos de suelos que predominan en la unidad hidrográfica Quebrada Arriba

Clasificación Taxonómica	Área (ha)	Porcentaje (%)	Observaciones
<i>Typic Usthorthens</i>	100.28	30	Incipiente
<i>Typic Argiustolls</i>	51.44	7.91	Pedregoso tanto en el epipedón como endopedones
<i>Typic Calciusteps</i>	86.25	13.26	Deposición coluvial
<i>Typic Haplustalf</i>	228.19	35.09	Fertilidad media
<i>Typic Haplusteps</i>	91.07	14	Endopedones en proceso desarrollo y piedras en todo el perfil

Fuente: Elaboración propia a partir del mapa de subgrupos taxonómicos de suelo. Sistema USDA, conocido como "Soil Taxonomy"

#### Descripción de subgrupos taxonómicos de suelo en la unidad hidrográfica Quebrada Arriba

##### *Typic Argiustolls*

Es un suelo que se caracteriza por encontrarse entre pendientes que van de 30 a más del 50 por ciento; bien drenados, color negro hasta el contacto lítico y presentan textura de franco-arcillo-limoso a arcillosa (Figura 5). A partir de la información levantada en campo se logró identificar que este suelo se encuentra severamente erosionado y utilizado para el cultivo de maíz. Presenta contenidos altos de materia orgánica, porcentaje de saturación de bases mayores al 50%, y alta capacidad de intercambio catiónico. Debido a sus limitaciones de pendiente, su potencial de uso es apta únicamente para forestales y protección de vida

silvestre. Este suelo se encuentra localizado en la comunidad de los Carpules, ubicada geográficamente entre las coordenadas (UTM), 16P X=553279 m E y Y=1494532 m N. Cubre un área de 51.44 hectáreas, que corresponde al 7.9 por ciento del área de la cuenca.



**Figura 5.** Perfil representativo del subgrupo taxonómico “*Typic Argiustolls*”, Yalagüina, Madriz. 2019

El *Typic argiustolls*; es un suelo resultado de la adición a largo plazo de altos contenidos de materiales orgánicos. Suelo oscuro y alta fertilidad, lo que lo reconoce como los suelos agrícolas más importantes desde el punto de vista productivo. Presentan un horizonte B enriquecido con arcilla (argílico), que permite retener humedad a las plantas. La particularidad de este perfil es que presenta piedras en toda el perfil, también es retenedor hídrico. A pesar de que la unidad hidrográfica Quebrada Arriba está ubicada en el corredor seco de Nicaragua, se logró apreciar horizontes sub-superficiales con alto grado de humedad.

### *Typic calciusteps*

Es un suelo de moderada fertilidad, que se formó en la parte baja de la cuenca Quebrada Arriba, a partir de deposiciones coluviales (proceso por efecto de la gravedad y erosión de la parte alta) provenientes de la parte alta del paisaje, y localizado en la parte baja de pendiente planas cercanas a los afluentes aluviales (Figura 6). Cubre un área de 86.25 hectáreas, equivalente al 13.26 por ciento del área de cuenca.



**Figura 6.** Perfil representativo del subgrupo taxonómico “*Typic Calciusteps*”; Yalagüina, Matriz. 2019

Esta unidad edáfica está ubicada geográficamente entre las coordenadas (UTM), 16P X=553439 m E y Y=1491507 m N. En la comarca Salamasí, en un paisaje ligeramente ondulado, terreno colinado, en una pendiente de 4-8% con una elevación de 670 m, con presencia de erosión severa, suelos bien drenados, escurrimiento superficial alto-rápido, Poca Pedregosidad, actualmente está siendo usado con maíz- frijol.

Se caracteriza por presentar horizontes superficiales y sub-superficiales de color negro y textura de franco arcillosa a arcillosa, descansa sobre horizontes cámbico  $Bw_1$ ,  $Bw_2$ . Estos suelos presentan la particularidad de una disminución de calcio disponible, desde los endopedones hasta el horizonte superficial (A), de las concentraciones de calcio, esto se debe a la presencia de estructuras marmolizadas enriquecidas con carbonatos de calcio, que por efecto de capilaridad distribuye el calcio disponible en esta unidad de suelo.

### *Typic Haplustepts*

Esta unidad de suelo se localiza entre las coordenadas (UTM) 16P X=551825 m E y Y=1493130 m N. En la comarca Cerro Grande en una ladera convexa inclinada, terreno irregular, en una pendiente de +45 %, con una elevación de 800 m. Con presencia de erosión severa, suelos bien drenados, escurrimiento superficial rápido, pedregosidad mayor a 50%, actualmente está siendo usado con cultivos anuales (Figura 7).



**Figura 7.** Perfil representativo del subgrupo taxonómico “*Typic Haplustepts*”, Yalagüina, Matriz. 2019

El *Typic Haplustepts* encontrado en la unidad hidrográfica Quebrada arriba es un suelo mineral con débil desarrollo de horizontes, es decir en proceso de desarrollo; presenta una secuencia de pedogénesis de A-Bw<sub>1</sub>-Bw<sub>2</sub>-Cr y textura franco arcillosa a arcillosa. Estos suelos ocupan un área de 91.07 hectáreas para un 14 por ciento del área total de la cuenca.

La degradación presente se asocia a la disminución de la cobertura vegetal causada por la agricultura migratoria, quemadas, deforestación, sobre pastoreo, erosión, pérdida de materia orgánica y la disminución de su fertilidad natural de la tierra.

Estos suelos, en condiciones escarpadas y de baja precipitación, poseen poca capacidad de retención de humedad y baja producción de biomasa. Al perder cobertura el agua de lluvia no infiltra en el suelo y se escurre rápidamente, provocando a su vez el arrastre de gran parte de la capa superficial del suelo y el poco abastecimiento a las fuentes de agua superficial y subterránea.

### *Typic Haplustalf*

Los suelos de este subgrupo taxonómico están situados entre las coordenadas (UTM), 16P X=552826 m E y Y=1492917m N. En la comarca Quebrada Arriba, en una terraza escalón parte baja, terreno accidentado medio, en una pendiente de 8-15% con una elevación de 725 m. (Figura 8). Presentan erosión moderada, suelos moderadamente drenados, escurrimiento superficial rápido, humedad presente dentro del perfil, presencia de Pedregosidad, actualmente está siendo usado con pasto natural aceitillo.



**Figura 8.** Foto del perfil representativo del subgrupo taxonómico “*Typic Haplustalf*”, Yalagüina, Madriz. 2019

Estos suelos son los más predominantes en la unidad hidrográfica Quebrada Arriba, ocupando un área de 228 hectáreas, para un 35.09 por ciento del total del área de estudio y se distribuye en la parte media y alta de la cuenca. Las características de esta unidad de suelo fueron clasificadas como Alfisol de régimen de humedad ústico (llueve la mitad del año y 6

meses con sequia); con presencia de epipedón Ocrico, que descansa sobre un horizonte argílico de acumulación de arcilla iluvial. La secuencia textural es arcillosa en el horizonte A y Bt respectivamente.

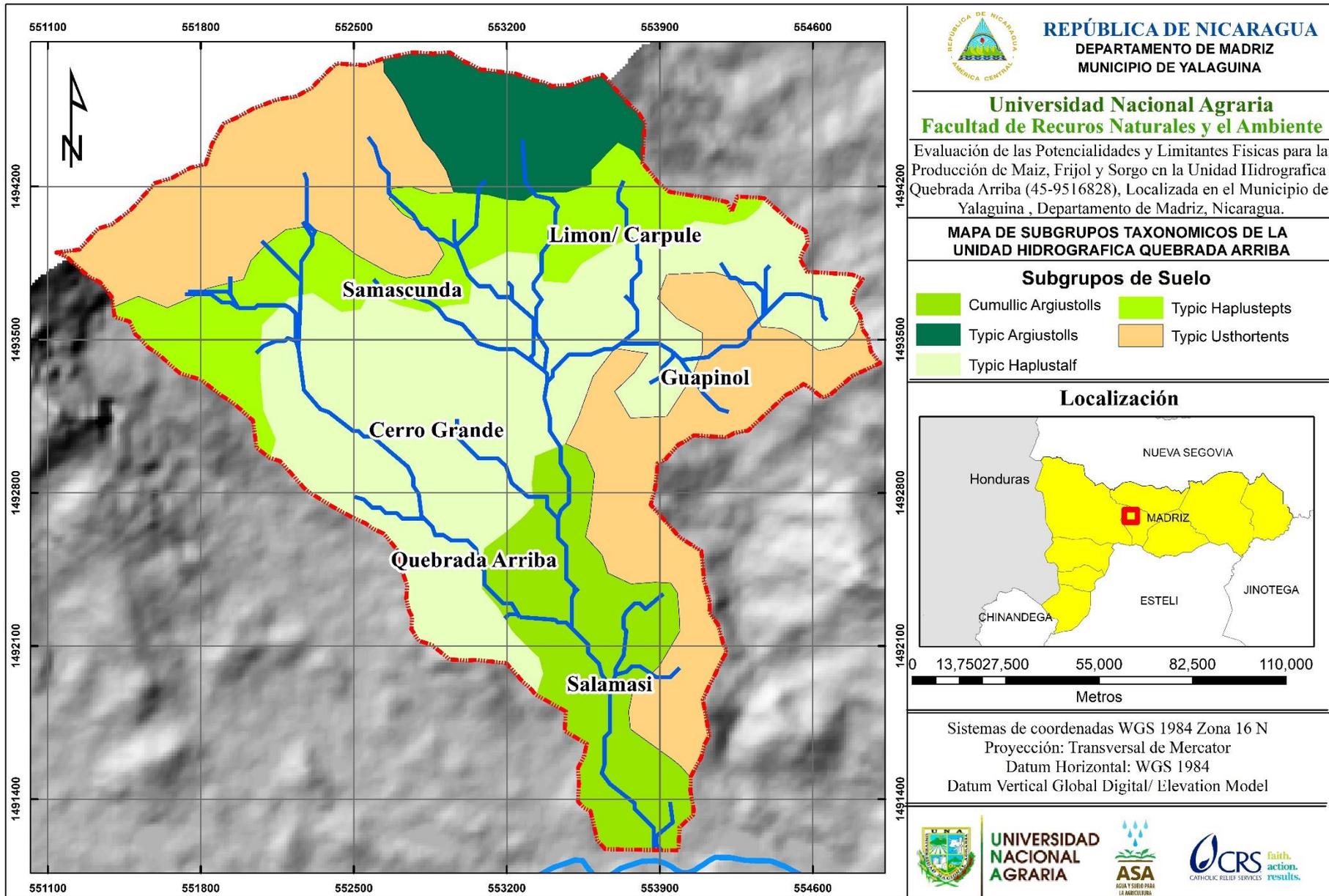
### ***Typic Usthorthens***

Esta unidad de suelo se localiza entre las coordenadas (UTM) 16P X=551825 m E y Y=1493130 m N. Son suelos minerales de formación reciente que tienen poca o ninguna evidencia de desarrollo de horizontes, la profundidad es muy superficial y relieve muy escarpado (Figura 9). Los suelos de esta unidad son suelos superficiales con profundidades menores de 10cm, representando un área de 100 hectáreas para un 15 por ciento del área total, y se encuentran ubicados en la parte alta de la cuenca.



**Figura 9.** Paisaje representativo del subgrupo taxonómico “*Typic Usthorthens*”, Yalagüina, Matriz. 2019

Son suelos superficiales con alta presencia de conglomerados rocosas en la superficie y dentro del perfil, característico de un suelo Entisol, con perfil A-R. Estos suelos fueron encontrados en pendientes que van de 15 a más del 50 por ciento, donde la erosión reduce posibilidades de desarrollo de horizontes. Tienen como uso predominante, cultivos anuales como maíz, frijoles, pasto más árboles dispersos y remanentes de bosques latifoliado ralo.



**Figura 10.** Mapa de subgrupos taxonómicos de suelo para la unidad hidrográfica Quebrada Arriba, Yalaguina, Madriz. 2019

### 4.1.3. Uso actual de los suelos

En la parte baja de la cuenca se observa predominio de usos de cultivos anuales o bien pasto y parches de bosque latifoliado ralo (Figura 11). En la parte media es dedicada a cultivos anuales combinada con vegetación arbustiva y pequeños espacios dedicados para pastizales.

La parte alta de la cuenca presenta un mosaico similar a la parte baja y media con áreas de cultivo, pasto y vegetación arbustiva. La alteración del ecosistema forestal en el área de estudio es crítica, y es necesario el manejo de la vegetación existente para la producción de agua y mejorar las condiciones edafoclimáticas. En esta área de la unidad hidrográfica Quebrada Arriba, se ha eliminado casi en su totalidad tanto, los bosques de coníferas, como el bosque seco latifoliado. Observándose una seria fragmentación del ecosistema forestal. Los usos actuales identificados en la unidad hidrográfica Quebrada Arriba se describen a continuación:

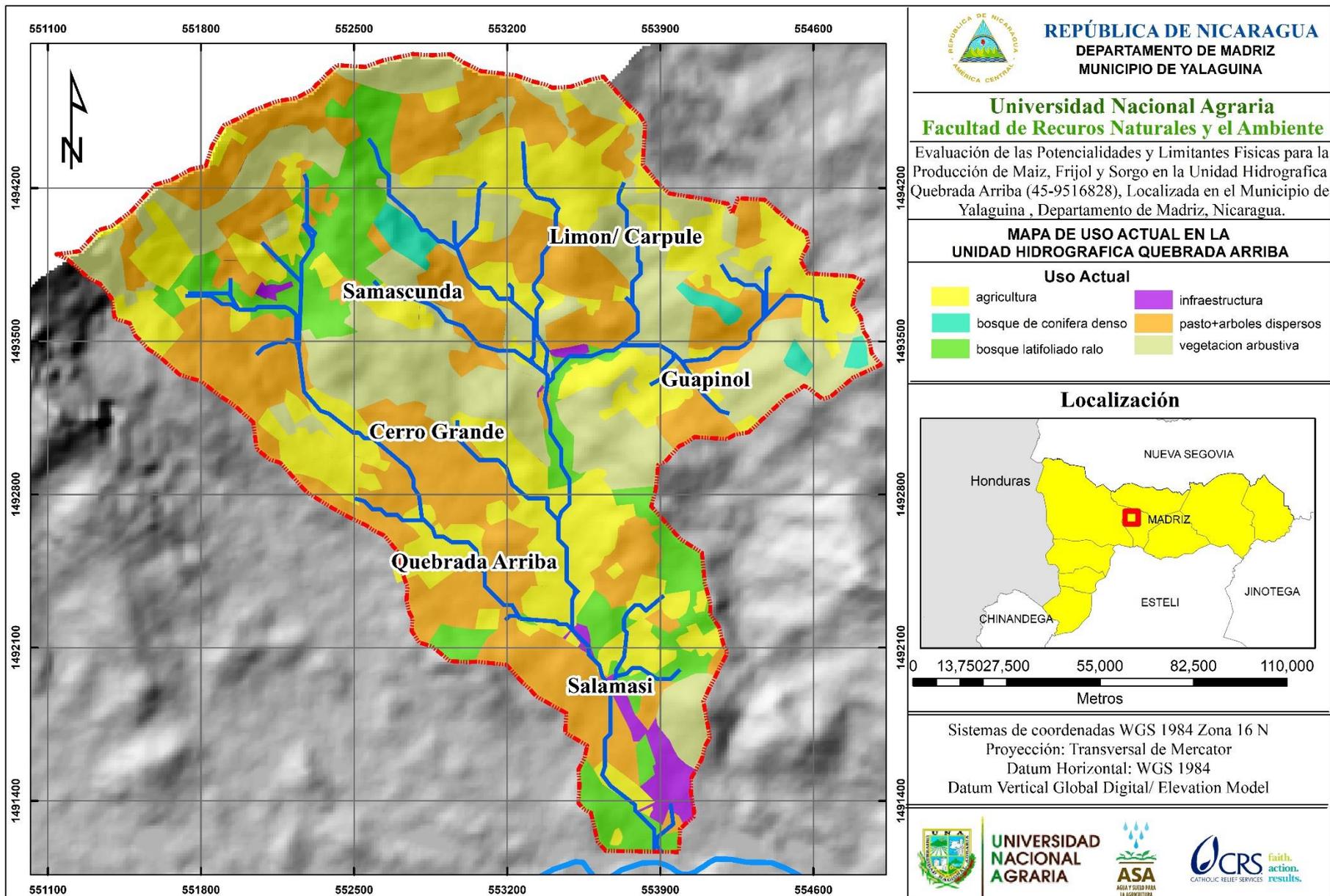
**Vegetación arbustiva:** superficies dominadas por leñosas sin copa definida y alcanzan alturas menores a los 5 metros. Abarcan una extensión de 163 hectáreas que corresponde al 25 por ciento del área total de cuenca. Esta categoría de uso se caracteriza extensiones de maleza y matorrales en terrenos agropecuarios en descanso.

**Cultivos anuales:** Abarca una extensión aproximada de 180 hectáreas y representa el 28 % del área total de la cuenca. Referido al uso continuo de la tierra de cultivos anuales, en el cual los suelos permanecen cubiertos de cultivos durante una época del año, o en rotación durante todo el año. Habitualmente son tierras con alto potencial agropecuario, pero localizado en laderas que los hacen vulnerables a la erosión hídrica.

**Pasto + arboles dispersos:** comprende tierras cubiertas con hierba de composición florística denominada *poaceae*, dedicada al pastoreo permanente. Incluye una extensión aproximada de 213 hectáreas que comprende el 33 % del área total de la cuenca. Siendo el uso de la tierra con mayor predominio en el territorio en estudio.

Bosque latifoliado ralo: presenta un área de 75 hectáreas, cubierta con una baja densidad de árboles mayores de 5 metros de altura y 20 centímetros de diámetro (DAP). Las copas de los árboles cubren entre 10 y el 70 % de la superficie del suelo. Este tipo de vegetación se encuentra distribuida discontinuamente en toda la cuenca, representando el 12% del área total.

Bosque de conífera denso: comprende una extensión mínima de 19 hectáreas, representando el 3% del área total de la cuenca. Son superficies mayores o iguales a 0.5 hectáreas, dominada por *Pinus esp.*



**Figura 11.** Mapa de Uso actual del suelo, Cuenca Quebrada Arriba, Yalaguina, Madriz. 2019

#### 4.1.4. Clases de Capacidad de uso

El sistema de clasificación de uso de la tierra (USDA 1968), determina 8 clases de capacidad basada en características físicas de los suelos, donde considera limitantes o restricciones productivas y de conservación de suelo. Los criterios considerados en el sistema son; la pendiente del terreno, profundidad y tipo de suelo, drenaje, facilidad para erosionarse, entre otras características geomorfológicas de la cuenca.

Con base en el método de clases de capacidad de uso, la vocación natural de la cuenca Quebrada arriba es forestal. No obstante, la mayor parte de este territorio está siendo usado para la producción de cultivos anuales y pasto. De acuerdo con el mapa de uso de la tierra en la cuenca Quebrada Arriba (Figura 12) se identificaron 5 clases de capacidad agrologicas (Figura 13):

Clase III: suelos aptos para la producción de cultivos anuales, con pendientes planas a moderadamente ondulada y menores al 8%. Suelos profundos a moderadamente, ocupando un área de 39 hectáreas, representando solamente el 6 por ciento del área total de la cuenca. Las limitantes de estos suelos (pendientes moderadamente inclinadas) están en la elección de cultivos, siembra, laboreo y cosecha.

Clase IV: Suelos en relieve fuertemente ondulado, y pendientes menores al 15%. Profundos a poco profundos, drenaje bueno a moderadamente bueno, con presencia de piedras en la superficie y susceptibilidad severa a erosión hídrica. Esta clase Ocupa un área de 76 hectáreas que representa el 12% del área total de la cuenca. Presentan mayores riesgos de erosión que los de clase III.

Clase VI: Suelos moderadamente escarpados, pendientes menores al 30%, erosión fuerte, profundos a poco profundos y drenaje natural bueno a imperfecto. Representan un área mínima de 0.8 hectáreas correspondiente al 0.12% del área total. Son aptos para la producción forestal, ganadería en silvopastura y sistemas agroforestales con cultivos permanentes como frutales, cacao y café.

Clase VII: Suelos fuertemente escarpados, con pendientes que van del 30-45%; susceptibles a la erosión y con limitaciones severas de profundidad y representa una extensión de 327 hectáreas que corresponde al 50% del área total de la cuenca. Esta clase es apta para el manejo y protección del recurso suelo, agua y vegetación.

Clase VIII: suelos que no cuentan con la capacidad de dar respuesta a prácticas de manejo de cultivos y pasto. Se consideran estos espacios para la generación de servicios ambientales como abastecimiento de agua, recreación y refugio de fauna silvestre. Suelos en relieve de precipicio o acantilados, con limitaciones muy severa de profundidad y pedregosos. Ocupa un área de 208 hectáreas, representando el 32% del área total de la cuenca.

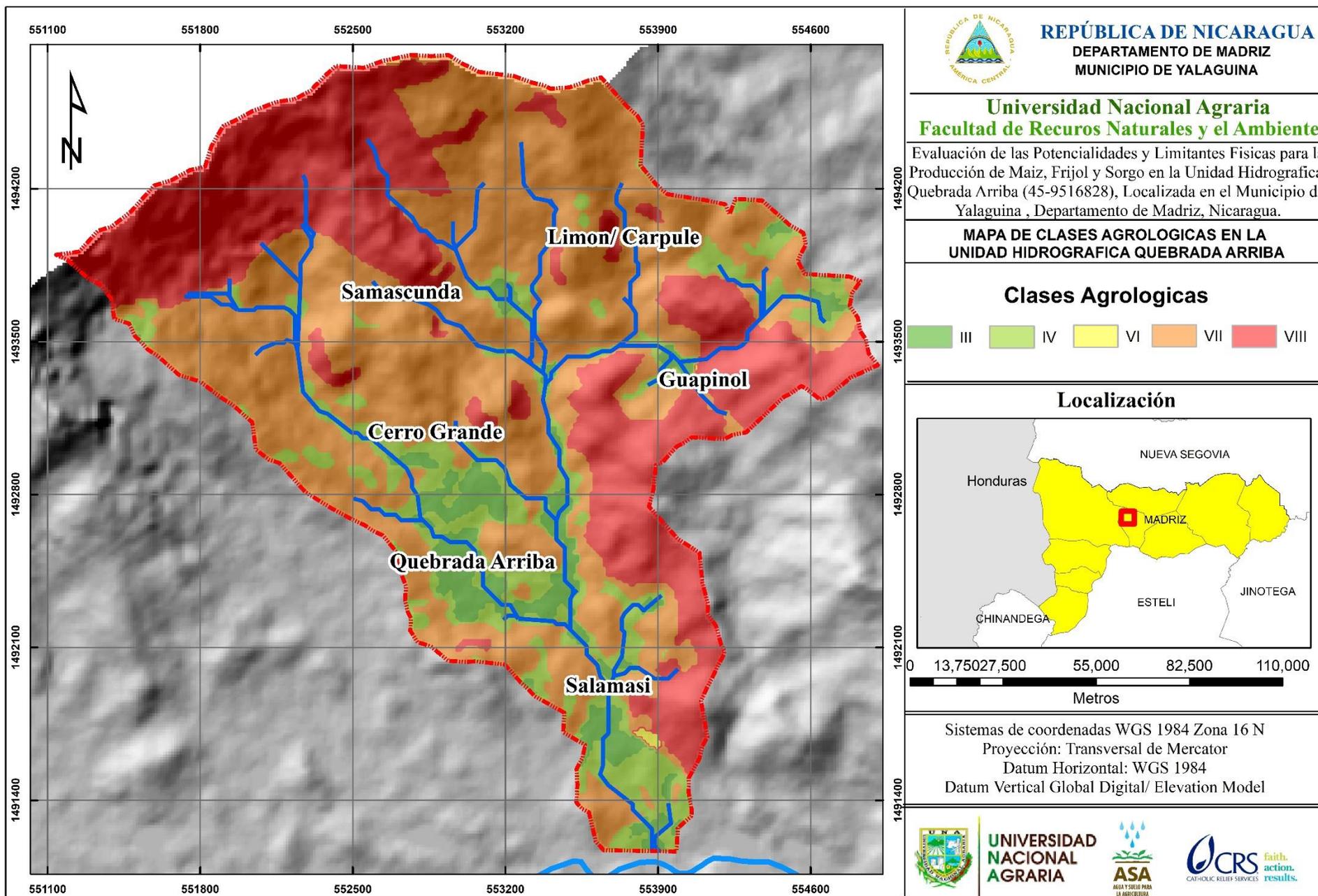


Figura 12. Mapa de clases de capacidad de uso de los suelos de la Unidad Hidrográfica Quebrada Arriba, Yalaguina, Madriz. 2019

#### **4.1.5. Potencial de uso de la tierra**

En la unidad hidrográfica Quebrada Arriba se identificaron 5 categorías de potencial de uso de suelo, con base en características climáticas, topográficas y restricciones de uso. Tales características se procesaron a partir de la sobre posición del mapa de pendiente y el mapa de clases de capacidad de la cuenca. A continuación, se describen las diferentes categorías de uso potencial (Figura 13).

Agricultura intensiva en zoca seca (III A-Zs): suelos clase de capacidad III, precipitaciones menores a los 1200 milímetros anuales y periodos secos de 6 a 8 meses. Suelos profundos a moderadamente profundos, en relieves planos a moderadamente ondulados y pendientes menores al 8%. Tierras que ofrecen un amplio rango de alternativas productivas como granos básicos de ciclo corto y tolerantes a la sequía. Requiere prácticas de conservación de suelos y agua, tecnología de almacenamiento y captación de agua y diversificación de sistemas productivos mediante el establecimiento de cultivos hortícolas y frutales. Cubre un área de 39 hectáreas, que corresponde al 6% del área total de la cuenca.

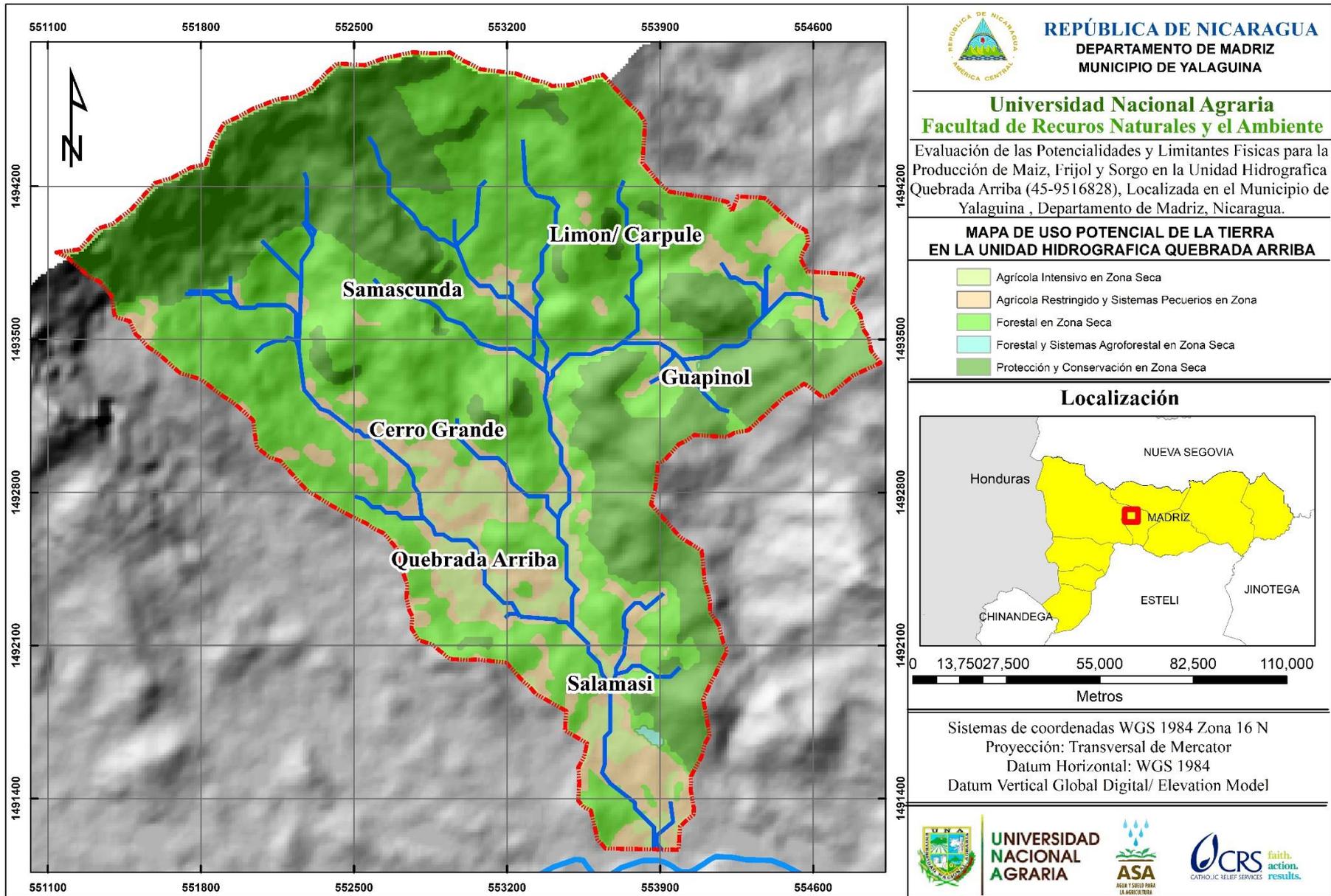
Agricultura restringida y sistemas pecuarios en zona seca (IV ASP-Zs): suelos clases de capacidad IV. Precipitaciones menores a los 1200 milímetros anuales y periodos secos de 6 a 8 meses; con temperaturas que varían de 25 a 27 0C. Relieve plano a fuertemente ondulado, pendientes menores del 15% y presenta Fuerte limitantes de erosión. Unidad de suelo apta para la producción de cultivos permanentes, semi-permanentes, sistemas pecuarios y producción forestal. El desarrollo ganadero establecerse bajo sistemas silvopastoriles y los cultivos anuales deben manejarse mediante sistemas agroforestales y tecnologías de manejo y conservación de suelos y agua. Comprenden una extensión territorial de 76 hectáreas, que representan el 12% del área total de la unidad hidrográfica Quebrada Arriba.

Forestal y sistema agroforestal en zona seca (VI. FSA-Zs): suelos clase de capacidad VI. En relieve moderadamente escarpados, pendientes entre los 15 y 30% y susceptible a la erosión. Apto para la producción forestal, manejo de bosque natural y plantaciones forestales de valor comercial y fines energéticos que se adapten al corredor seco del país. Actividad ganadera

bajo sistema silvopastura y agroforestal con prácticas muy intensivas de conservación de suelos y agua.

Forestal en zona seca (VII. F-Zs): Suelos clases de capacidad VII, en relieves escarpados a muy escarpados y pendientes entre 30 a 45%. Con limitantes muy severas de pendiente, erosión y piedras en la superficie. Se limita el manejo de bosque natural y protección de pequeñas áreas de pinares; ocupa una superficie de 327 hectáreas que corresponde al 50% del área total de la cuenca.

Protección y conservación en zona seca (VIII. P-Zs): suelos clase de capacidad VIII. En relieve escarpados a precipicios con pendientes de 50 a más del 75%. Presenta limitaciones severas de profundidad, erosión y afloramiento rocosos. Por lo consiguiente es únicamente apta para la protección de recursos naturales (suelo, agua, bosque, biodiversidad). Ocupa una superficie de 208 hectáreas que corresponde al 32% del área total de la cuenca.



**Figura 13.** Mapa potencial de uso la tierra de la Unidad Hidrográfica Quebrada Arriba, Yalaguina, Madriz. 2019

#### **4.1.6. Conflictos de uso**

En la unidad hidrográfica Quebrada Arriba, los suelos están siendo sobre utilizado (436.61 hectáreas), equivalente a un 67% del área total de la cuenca. Los suelos bien utilizados comprenden 169.80 hectáreas que corresponden al 26% del área total. Y los suelos subutilizados comprenden un área mínima de 32.82 hectáreas para un 5% del área de la cuenca (Figura 14).

El poco interés e iniciativas en la planificación y gestión de los recursos naturales de la unidad hidrográfica Quebrada Arriba, traen como resultado efectos negativos en el recurso suelo y bosque, debido a la sobreexplotación de la capacidad productiva y el cambio de uso de la tierra.

La degradación del bosque en la cuenca es inversamente proporcional a las necesidades humanas para producción agrícola y pecuaria, quedando únicamente pocas superficies cubiertas por bosque latifoliado ralo y vegetación arbustiva, la suma de las dos comprende a penas el 36% del área de estudio. En la parte media y alta se logra apreciar pequeños parches de bosque de conífera denso, que se han convertido pequeñas "Islas" en toda todo el espacio geográfico de la cuenca, factor limitante para la conectividad biológica y por ende inhibe los procesos ecológicos importantes en estos ecosistemas.

De los resultados de este trabajo, se logra apreciar en el mapa de uso potencial que más del 50% de la cuenca Quebrada es de vocación forestal, 32% del área también debería ser ocupada para la protección de recursos naturales (zona alta) y 12% para uso sostenible de la tierra (Agrosilvopastoril). Sin embargo, el paisaje de la cuenca es un mosaico de sistemas de cultivo limpio y pasturas, limitando la capacidad de recarga hídrica superficial y sub-superficial en las unidades de suelo del área de estudio.

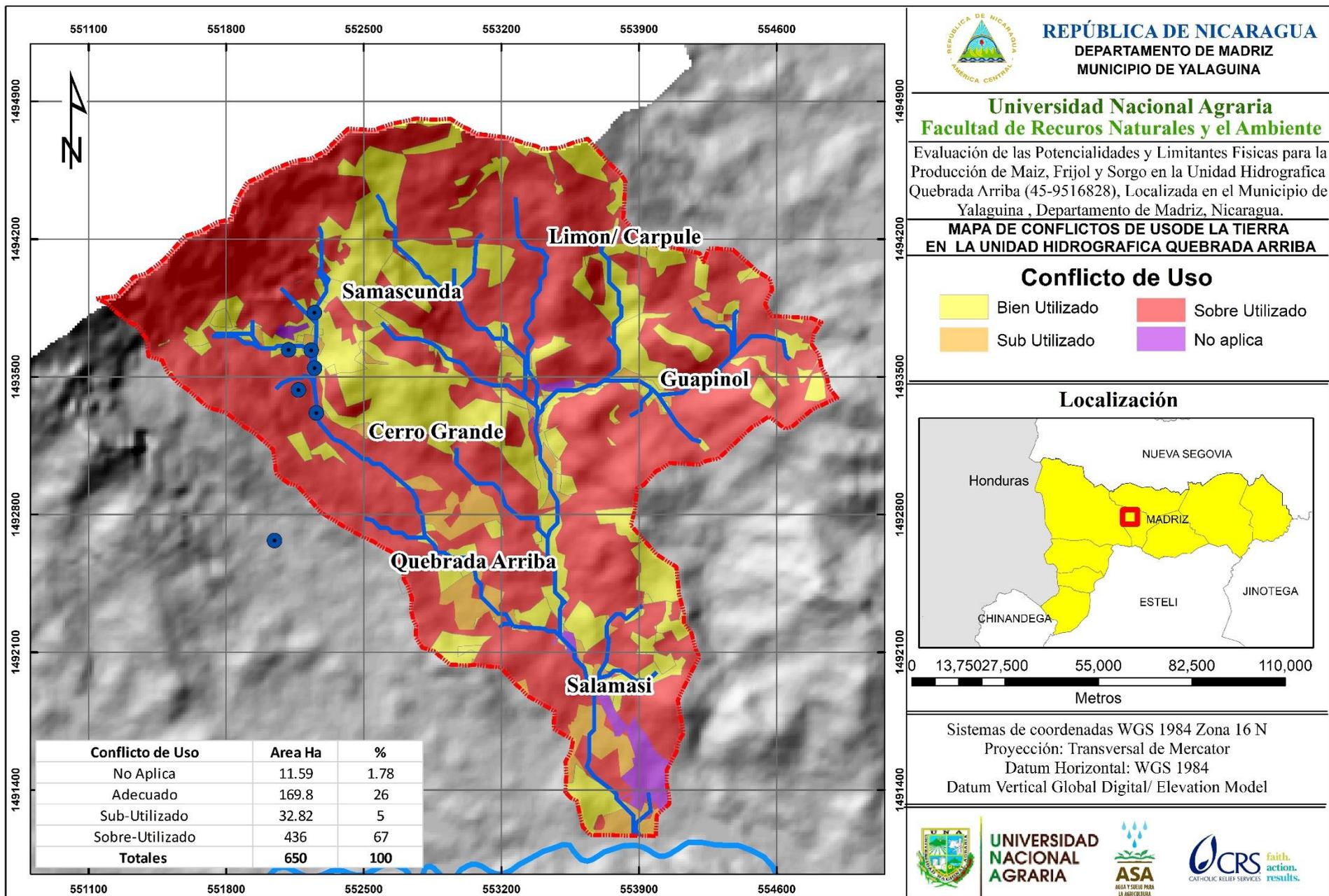


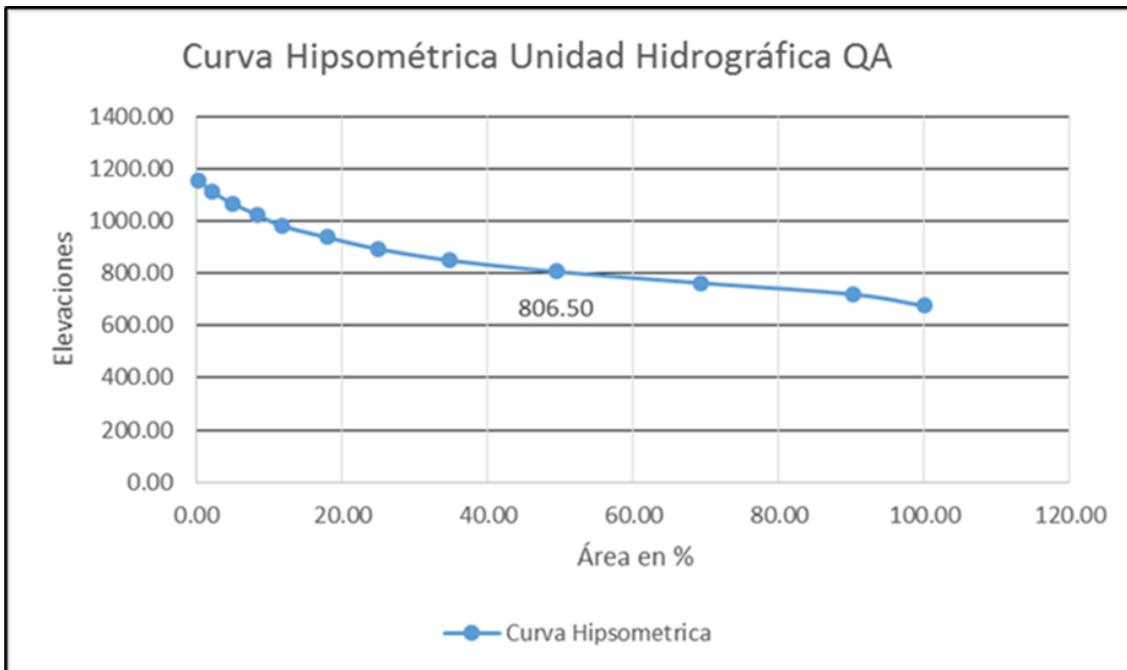
Figura 14. Mapa de conflictos de uso en la Unidad Hidrográfica Quebrada Arriba, Yalaguina, Madriz. 2019

## 4.2. Caracterización morfométrica de la cuenca

La unidad Hidrográfica Quebrada Arriba corresponde al nivel 7 (No 45-9516828), de acuerdo con el sistema de clasificación Pfafstetter (Anexo 10), siendo este parte de la cuenca del río La Sabana de nivel 6 (No 45-951682). La cuenca fue clasificada como una cuenca de tamaño pequeña con un área de 6.5 kilómetros cuadrado, un perímetro de 12.8 kilómetros y una elevación media de 806.5 m.

La cuenca Quebrada Arriba presenta un el coeficiente de Gravelius de 1.42 (Oval-redonda a oval oblonga), demostrando a su vez que la cuenca no tiene tendencia a concentrar grandes volúmenes de agua de escurrimiento. Su coeficiente de forma es de 0.41, explica que es una cuenca ni alargada y ni ensanchada, es decir, las descargas son de menor volumen en comparación a una cuenca ensanchada o redonda. El tiempo de concentración de la cuenca es 44.23 minutos o mejor dicho una transición de partículas de agua moderada desde la parte alta a su desembocadura.

La curva hipsométrica indica que la cuenca se encuentra en una etapa intermedia entre la fase de equilibrio relativo o de madurez y la de desequilibrio o juventud, implicando un potencial erosivo que no debe subestimarse en el territorio.



**Figura 15.** Curva hipsométrica de la Unidad Hidrográfica Quebrada Arriba, Yalagüina, Madriz. 2019

#### 4.2.1. Pendiente media de la cuenca

La pendiente media de la una cuenca está relacionada con procesos erosivos y en el cambio de uso del suelo presentes en una cuenca. Y a la vez se relaciona con la infiltración, la humedad del suelo, el escurrimiento superficial, la capacidad de recarga de ríos y pozos; y alternativas de manejos según las características topográficas.

La unidad hidrográfica Quebrada Arriba tiene una pendiente media del 31 por ciento, sumado a ello, La actividad antrópica ha incitado el desarrollo de la actividad agropecuaria en la parte media y alta de la cuenca, que ha ido deteriorando significativamente la cobertura vegetal, favoreciendo el escurrimiento superficial y potenciando procesos erosivos.

#### 4.2.2. Parámetros de red de drenaje

Los tributarios que conforman el sistema de drenaje de la unidad hidrográfica Quebrada Arriba, son afluentes donde circula solo en época lluviosa, es decir, presenta corrientes efímeras. La cuenca Quebrada Arriba se clasifica como exorreica, debido a que tiene su salida hacia la cuenca del río la sabana, número 45-951682. El patrón de drenaje de esta cuenca es un sistema detrítico (terrenos llanos o pendiente suave menor del 5%). (Tabla 20).

El cauce principal tiene una pendiente media del 3 % y una longitud de 3.95 kilómetros. La longitud total de todos los tributarios de la red de drenaje es de 16.9 kilómetros (Ilustración 19). En el cuadro 14 se presenta el orden, número, longitud de corrientes expresado en kilómetros y clases de corrientes.

**Tabla 5.** Número de orden, longitud y clase de corriente

N <sup>o</sup> orden	Cantidad	longitud	Clase de corriente
1	28	8.4km	Efímera
2	16	3.7km	Efímera
3	5	2,4km	Efímera
4	5	2,4km	Efímera
<b>total</b>	<b>54</b>	<b>16.9km</b>	-

### **4.2.3. Densidad de drenaje y corriente**

La densidad de drenaje revela la relación que existe entre la longitud de los cursos de agua regulares e irregulares de una cuenca y la superficie total de la misma (López Cárdenas, 1998). De otra manera, describe la capacidad de desalojar un determinado volumen de agua; y es un parámetro representativo a las condiciones topográficas de la cuenca en estudio.

Valores mínimos de esta relación están relacionados a regiones con materiales de suelo poco erosionable o permeable, cubierta vegetal densa y zonas planas; mientras que, valores altos de densidad de drenaje refieren a que las precipitaciones inciden rápidamente sobre la descarga de los ríos, zonas con poca cobertura vegetal, suelos fácilmente erosionables y poco permeable. En el caso de la unidad hidrográfica Quebrada Arriba la densidad de drenaje es de 2.6 kilómetro por kilómetro cuadrado, lo que nos indica que es una densidad de drenaje alta.

### **4.3. Comparación de disponibilidad de agua en el suelo y necesidad hídrica de cultivos tradicionales de la cuenca**

#### **Balance hídrico**

Para las proyecciones realizadas en el balance hídrico es importante destacar el uso de los modelos que están a disposición en la página oficial del CIAT para la obtención de los datos a futuros del clima. Los datos que hemos considerado para el análisis son los datos de precipitación, y temperatura promedio.

En las tablas 5, 6, 7, 8 se presentan los balances hídricos más representativos para cada década, partiendo del año en curso, hasta el año 2050. Los cuales reflejan los meses con ganancias de agua por lluvia y las pérdidas por evaporación, escorrentía, así como la variación de las reservas de agua en el suelo.

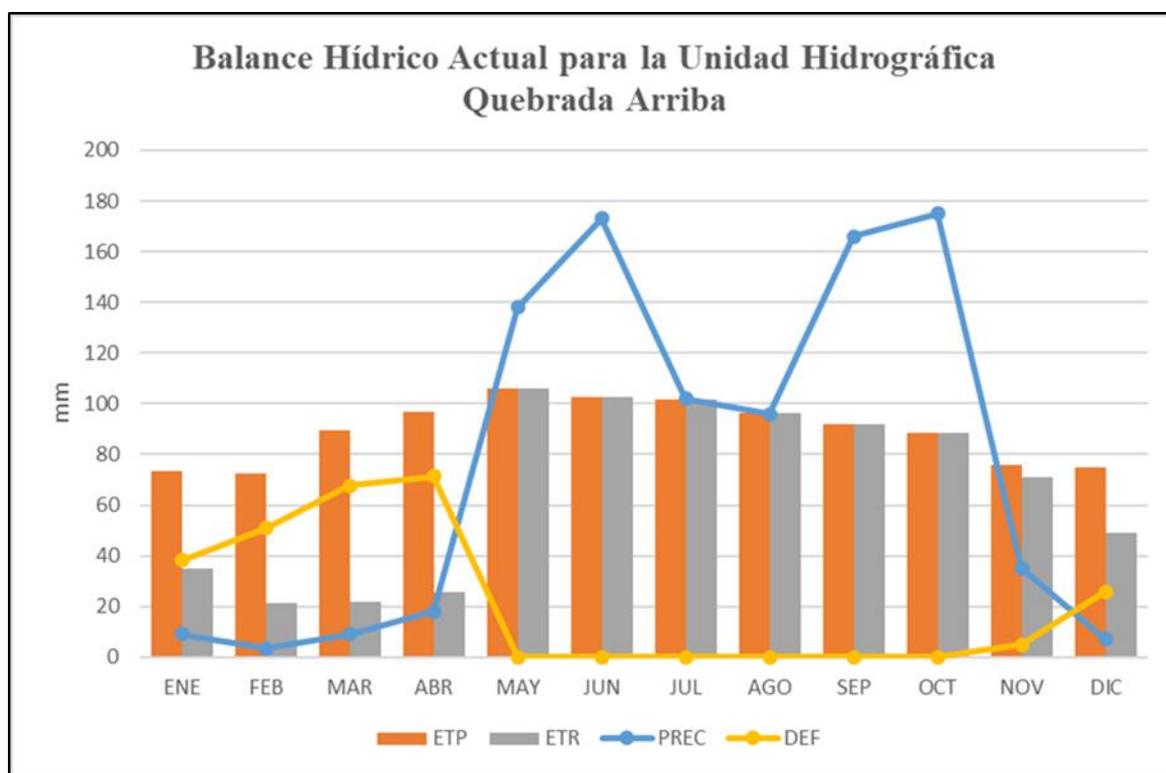
#### **Balance hídrico actual**

El déficit de agua para la unidad hidrográfica Quebrada Arriba, es de 258 mm/año para el presente año. El CRAD es de 153.72 mm respectivamente. El exceso de agua para estos suelos es de 293.63 mm/año.

Los meses en que se presenta déficit de agua en el suelo corresponden al mes de noviembre hasta el mes de abril. Las reservas más los excedentes de agua se inician en los meses que se corresponden a la época lluviosa (mayo a noviembre); la precipitación está por encima de la evapotranspiración real. En diciembre se da inicio a la utilización de la reserva del suelo por la vegetación, ya que las precipitaciones son muy pocas. El déficit disminuye drásticamente una vez que inicia la época lluviosa.

**Tabla 6.** Balance hídrico (mm) actual de la unidad hidrográfica Quebrada Arriba, municipio de Yalagüina, Matriz. 2019

Parámetros	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Prec	9	3.5	9	18	138	173	102	96	166	175	35	7
ETP	73.19	72.42	89.59	97	106.11	102.45	101.86	96.31	91.81	88.35	76.01	74.84
P-ET	-64.19	-68.92	-80.59	-79	31.89	70.55	0.14	-0.31	74.19	86.65	-41.01	-67.84
PPA	-173.04	-241.96	-322.55	-401.55	0	0	0	-0.31	0	0	-41.01	-108.85
RES	49.87	31.85	18.86	11.28	153.72	153.72	153.72	153.41	153.72	153.72	117.72	75.72
VAR	-25.85	-18.02	-13.00	-7.58	142.44	0	0	-0.31	0.31	0	-36.00	-42.01
ETR	34.85	21.52	22.00	25.58	106.11	102.45	101.86	96.31	91.81	88.35	71.00	49.01
Déficit	38.34	50.90	67.59	71.42	0	0	0	0	0	0	5.01	25.83
Exceso	0	0	0	0	110.55	70.55	0.14	0	73.88	86.65	0	0



**Figura 16.** Balance hídrico actual para la unidad hidrográfica Quebrada Arriba, Yalagüina, Matriz. 2019

## **Balance hídrico proyectado para el año 2030**

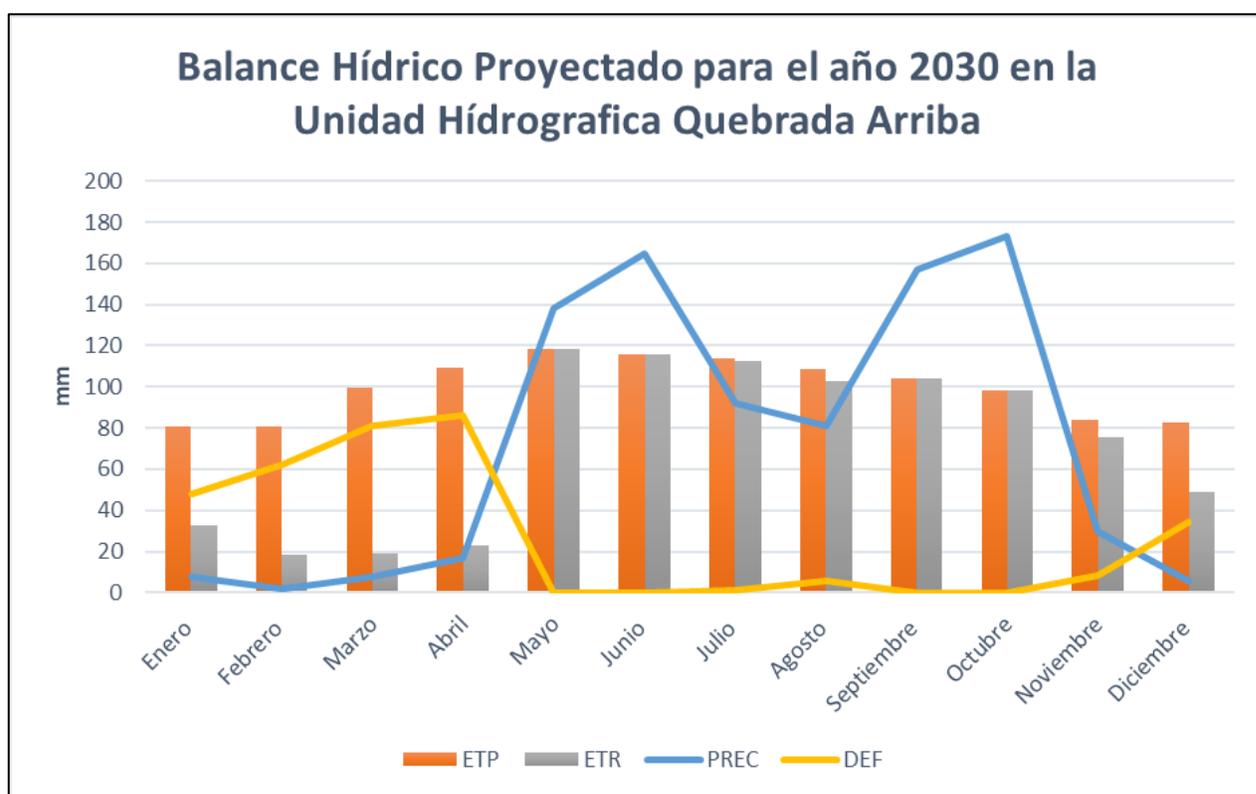
El resultado del modelo pesimista RCP 8.5 para la zona de estudio nos arrojó un escenario de incremento de temperatura y disminución de precipitación, esto corresponde a un nivel muy alto de gases de efecto invernadero, que representa resultados de diferentes combinaciones de futuros económicos, tecnológicos, demográficos, políticos e institucionales. Observándose, un incremento del déficit de agua en el suelo, y disminución de los meses de excesos de agua con la década anterior, que a pesar de poseer una estructura arcillosa que facilita la permanencia de agua en el perfil, las variables climáticas castigan la disponibilidad de agua en el periodo canicular el (Figura 17; Tabla 6).

El déficit de agua para la unidad hidrográfica Quebrada Arriba, es de 324.66 mm/año para el año 2030. El CRAD no presenta variación es de 153.72 mm respectivamente. El exceso de agua para estos suelos es de 261.37 mm/año. Es notorio que para esta década se tienen ocho meses con déficit y cuatro con exceso, lo cual se traduce a un aumento de 106 mm/año en el suelo de déficit. A diferencia de la década anterior (2010-2020).

En este escenario los meses en que se presenta déficit de agua en el suelo, corresponde al mes de noviembre hasta el mes de abril. Y una ligera presencia en el periodo canicular entre julio y agosto. Porque la precipitación está por debajo de la evapotranspiración real en dichos meses (Figura 24). Las reservas más los excedentes de agua se inician en los meses que se corresponden a la época lluviosa (mayo a noviembre); En diciembre se da inicio a la utilización de la reserva del suelo por la vegetación, ya que las precipitaciones son muy pocas. El déficit disminuirá una vez que inicia la época lluviosa en mayo.

**Tabla 7.** Balance hídrico (mm) según el modelo pesimista RCP 8.5, para el año 2030 de la unidad hidrográfica Quebrada Arriba, Yalagüina, Matriz. 2019

QA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
PREC	8	2	8	17	138	165	92	81	157	173	30	6
ETP	80.45	80.41	99.84	109.21	118.31	115.47	113.91	108.84	103.75	98.5	83.73	82.85
P-ET	-72.45	-78.41	-91.84	-92.21	19.69	49.53	-21.91	-27.84	53.25	74.5	-53.73	-76.85
PPA	-203.03	-281.44	-373.28	-465.49	0	0	-21.91	-49.75	0	0	-53.73	-130.58
RES	41.03	24.64	13.56	7.44	153.72	153.72	133.30	111.22	153.72	153.72	108.38	65.74
VAR	-24.71	-16.39	-11.08	-6.12	146.28	0.00	-20.42	-22.08	42.50	0.00	-45.34	-42.64
ETR	32.71	18.39	19.08	23.12	118.31	115.47	112.42	103.08	103.75	98.5	75.34	48.64
DEF	47.74	62.02	80.76	86.09	0	0	1.49	5.76	0	0	8.39	34.21
EX	0	0	0	0	126.59	49.53	0.00	0	10.75	74.5	0	0



**Figura 17.** Periodos de exceso o deficiencia de agua proyectados para el año 2030 para la unidad hidrográfica Quebrada Arriba, Yalagüina, Matriz. 2019

## **Balance hídrico proyectado para el año 2040**

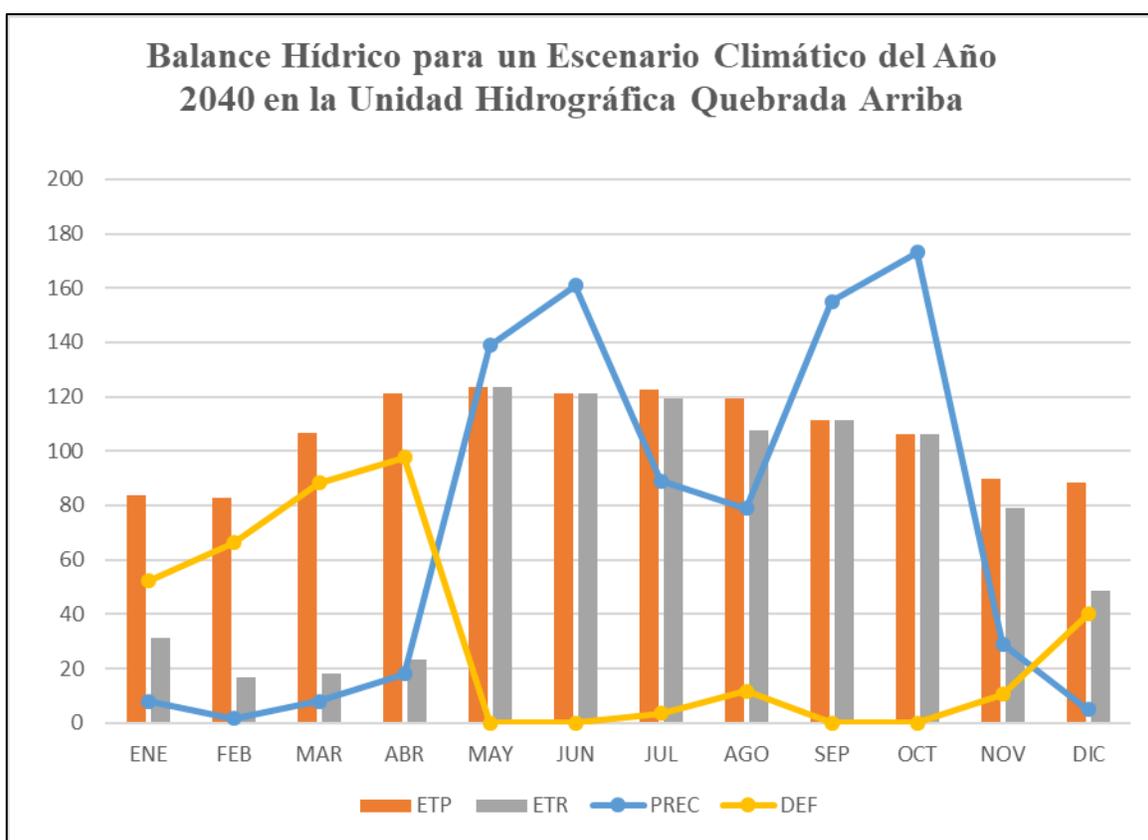
El déficit de agua para esta década bajo el mismo modelo de RCP 8.5 de la unidad hidrográfica Quebrada Arriba, es de 370.11 mm/año para el año 2040. Esto nos indica un aumento de 45.45 mm/año más en comparación que el escenario de 2030. El CRAD no presenta variación es de 153.72 mm respectivamente. El exceso de agua para estos suelos es de 293.64 mm/año. Al igual que la década anterior, es notable que para este nuevo periodo se tienen igual ocho meses con déficit y cuatro con exceso, luego de haber calculado la diferencia de déficit entre los periodos anteriores queda demostrado que el déficit incrementara a 112.8 mm/año aún más en un periodo de 20 años (Tabla 7).

Es importante mencionar, que, para este periodo las variables de temperatura y precipitación continúan en aumento significativo. Pero a diferencia del ciclo 2030 el modelo pesimista aumenta aún más los valores de las variables, por un escenario de mayor concentración de gases de efecto invernadero, que por consiguiente en la tabla 12 podemos ver el impacto directo en nuestros resultados de proyección.

En este nuevo escenario los meses en que se presenta déficit de agua en el suelo corresponden a mediados del mes de noviembre hasta el mes de abril. Y presencia significativa en el periodo canicular entre julio y agosto. Al igual que el escenario 2030 la precipitación está por debajo de la evapotranspiración real en dichos meses (Figura 18). Y además en el mes de diciembre se logra apreciar un aumento notable de déficit. Las reservas más los excedentes de agua se inician en los meses que se corresponden a la época lluviosa (mayo a mediados noviembre); En diciembre se da inicio a la utilización de la reserva del suelo por la vegetación, ya que las precipitaciones son muy pocas. El déficit disminuirá una vez que inicia la época lluviosa en mayo.

**Tabla 8.** Balance hídrico (mm) según el modelo pesimista RCP 8.5 para el año 2040 de la unidad hidrográfica Quebrada Arriba, Yalaguina, Madriz. 2019

QA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
PREC	8	1.5	8	18	139	161	89	79	155	173	29	5
ETP	83.71	82.79	106.5	121.15	123.64	121.37	122.51	119.17	111.53	106.41	89.64	88.57
P-ET	-75.71	-81.29	-98.5	-103.15	15.36	39.63	-33.51	-40.17	43.47	66.59	-60.64	-83.57
PPA	-219.92	-301.21	-399.71	-502.86	0	0	-33.51	-73.68	0	0	-60.64	-144.21
RES	36.76	21.66	11.41	5.83	153.72	153.72	123.61	95.18	153.72	153.72	103.61	60.16
VAR	-23.40	-15.10	-10.25	-5.58	147.89	0.00	-30.11	-28.43	58.54	0.00	-50.11	-43.45
ETR	31.40	16.60	18.25	23.58	123.64	121.37	119.11	107.43	111.53	106.41	79.11	48.45
DEF	52.31	66.19	88.25	97.57	0	0	3.40	11.74	0	0	10.53	40.12
EX	0	0	0	0	132.53	39.63	0	0	15.07	106.41	0	0



**Figura 18.** Periodos de exceso o deficiencia de agua proyectados para el año 2040, para la unidad hidrográfica Quebrada Arriba.

## **Balance hídrico proyectado para el año 2050**

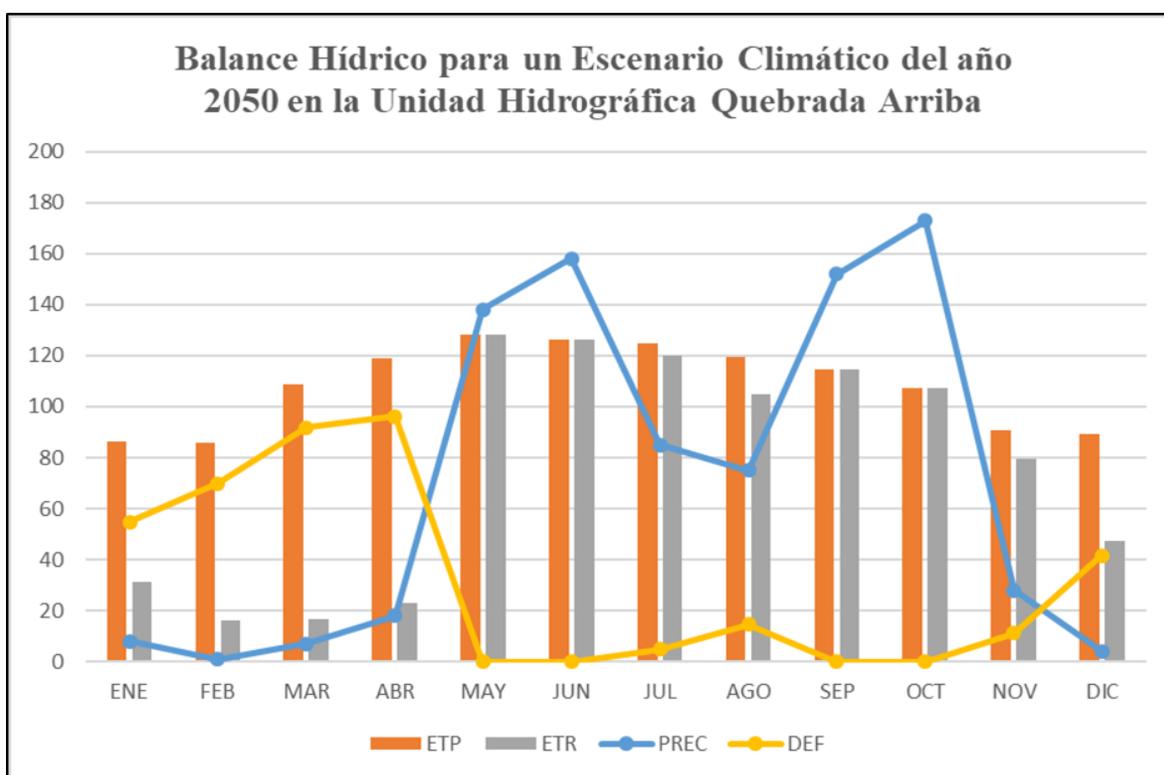
Las proyecciones al 2050, según balance hídrico proyectado en la unidad hidrográfica Quebrada Arriba, el período con déficit de agua bajo el mismo modelo de RCP 8.5, es de 384.69 mm/año. Esto indica un aumento de 14.69 mm/año más en comparación que el escenario de 2040. El CRAD no presenta variación es de 153.72 mm respectivamente (Tabla 8). El exceso de agua para estos suelos es de 263.66 mm/año. Nuevamente la proyección indica que el déficit es mayor que la década anterior y además el exceso de agua disminuye. También es notable que para este nuevo periodo se tienen igual ocho meses con déficit y cuatro con exceso, además para tener un dato certero para la unidad hidrográfica con respecto al déficit de agua en el suelo queda demostrado que el déficit incrementara a 126.69 mm/año en un periodo de 30 años (2020-2050).

En este pronóstico, la variable temperatura y la precipitación continúan en aumento significativo, comparado al ciclo 2040, por un escenario de mayor concentración de gases de efecto invernadero.

En este último escenario no hay diferencia con respecto a los meses en que se presenta déficit de agua, al igual que los escenarios anteriores en el suelo el déficit corresponde a mediados del mes de noviembre hasta el mes de abril. Es importante la ocurrencia del periodo canicular entre julio y agosto. Al igual que el escenario 2040 la precipitación está por debajo de la evapotranspiración real en dichos meses (Figura 19). Entre los meses de noviembre y diciembre se logra apreciar un aumento notable de déficit. Las reservas más los excedentes de agua se inician en los meses que se corresponden a la época lluviosa (mayo a mediados noviembre). En diciembre inicia la utilización de la reserva del suelo por la vegetación, y el déficit disminuirá una vez que inicia la época lluviosa en mayo.

**Tabla 9.** Balance hídrico (mm) según el modelo pesimista RCP 8.5 para el año 2050 de la unidad hidrográfica Quebrada Arriba, Municipio de Yalagüina.

QA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
PREC	8	1	7	18	138	158	85	75	152	173	28	4
ETP	86.34	85.96	108.52	119.13	128.4	126.04	124.9	119.26	114.4	107.09	90.68	88.99
P-ET	-78.34	-84.96	-101.52	-101.13	9.6	31.96	-39.9	-44.26	37.6	65.91	-62.68	-84.99
PPA	-226.01	-310.97	-412.49	-513.62	0	0	-39.9	-84.16	0	0	-62.68	-147.67
RES	35.33	20.33	10.50	5.44	153.72	153.72	118.58	88.91	153.72	153.72	102.25	58.82
VAR	-23.49	-15.00	-9.83	-5.06	148.28	0.00	-35.14	-29.67	64.81	0.00	-51.47	-43.43
ETR	31.49	16.00	16.83	23.06	128.4	126.04	120.14	104.67	114.4	107.09	79.47	47.43
DEF	54.85	69.96	91.69	96.07	0	0	4.76	14.59	0	0	11.21	41.56
EX	0	0	0	0	138.68	31.96	0.00	0	27.21	65.91	0	0



**Figura 19.** Periodos de exceso o deficiencia de agua proyectados para el año 2050 para la unidad hidrográfica Quebrada Arriba. Yalagüina 2019

## Necesidad hídrica de los principales cultivos de la unidad hidrográfica Quebrada Arriba

Necesidad de agua de los cultivos de maíz, frijol y sorgo para la época de postera:

**Tabla 5.** Necesidad de agua para el cultivo de maíz en época de primera

<b>Maíz-primero</b>	<b>M</b>	<b>J</b>	<b>J</b>	<b>A</b>
KC	0,7	1,15	1,15	0,6
ET <sub>0</sub>	155	136,4	124	120
ET <sub>c</sub>	108,5	156,86	142,6	72
PE	115	127,7	91,3	90
NA	0	29,16	51,3	0

Kc: coeficiente de cultivo; ET<sub>0</sub>: evapotranspiración de de referencia; ET<sub>c</sub>: evapotranspiración de cultivo; PE: precipitación efectiva o útil, NA: necesidad de agua (necesidad neta de riego o déficit neto).

En el ciclo agrícola de primera para el cultivo de maíz, la necesidad neta de riego en periodos mensuales indica que, para los meses de julio y junio la planta requiere 29.16 y 51.3 milímetros de agua respectivamente. En junio y julio la tasa de evapotranspiración supera la lluvia efectiva o útil correspondientes a estos meses, por consiguiente; el agua que permanece a disposición de las raíces del cultivo no satisface la demanda agua en la etapa de desarrollo y medio del maíz. Por el contrario, en la fase inicial y final de desarrollo del cultivo (mes de mayo y agosto) la lluvia efectiva es mayor que la evapotranspiración (ET<sub>c</sub>), y por tanto, no existe déficit de agua ya que la planta requiere menos agua en estos meses en comparación en la etapa de desarrollo.

**Tabla 6 .** Necesidad de agua para el cultivo de frijol en época de primera

<b>frijol-primera</b>	<b>M</b>	<b>J</b>	<b>J</b>	<b>A</b>
Kc	0,59	1,19	1,19	0,35
ET <sub>0</sub>	155	136,4	124	120
ET <sub>c</sub>	91,45	162,316	147,56	42
PE	155	127,7	91,3	90
NA	0	34,616	56,26	0

El cultivo de frijol, en época de primera, presenta el mismo comportamiento de déficit hídrico en los meses de julio y junio. Los efectos de las características del cultivo sobre la necesidad de agua dependen de su coeficiente, este coeficiente determina la evapotranspiración de cultivo con base en las condiciones climáticas, el ritmo de desarrollo del cultivo y la duración del periodo vegetativo. Bajo este argumento, La evapotranspiración del cultivo del frijol es mayor que la del maíz en los meses de déficit; Por consiguiente, su necesidad neta de riego es mayor en comparación a la necesidad de agua del cultivo del maíz.

**Tabla 7.** Necesidad de agua para el cultivo de Sorgo en época de primera

<b>sorgo-primera</b>	<b>M</b>	<b>J</b>	<b>J</b>	<b>A</b>
Kc	0,44	1,05	1,05	0,35
ETP	155	136,4	124	120
Etc	68,2	143,22	130,2	42
PE	115	127,7	91,3	90
NA	0	15,52	38,9	0

Los 3 cultivos considerados en esta investigación presentan déficit o demanda neta de agua en los meses de junio y julio. En el caso del cultivo de sorgo la necesidad de agua es menor que la necesidad de agua del cultivo del maíz y frijol. En la etapa de desarrollo inicial y final (mayo y agosto) del sorgo, no tenemos evidencia de déficit hídrico, dado que la precipitación efectiva es mayor que la evapotranspiración del cultivo.

Necesidad de agua de los cultivos de maíz, frijol y sorgo para la época de postrera:

**Tabla 8.** Necesidad de agua para el cultivo de maíz en época de postrera

<b>Maiz-postrera</b>	<b>A</b>	<b>S</b>	<b>O</b>	<b>N</b>
Kc	0,7	1,15	1,15	0,6
ET <sub>0</sub>	120	120	108,5	90
ETc	84	138	124,8	54
PE	90	129,8	130,6	37,4
NA	0	8,2	0	16,6

En el ciclo agrícola de postrera, para el cultivo de maíz la necesidad neta de riego en periodos mensuales muestra que, para los meses de septiembre y noviembre la planta requiere 8.2 y 16.6 milímetros de agua respectivamente. En septiembre y noviembre la tasa de evapotranspiración está por encima de la lluvia efectiva, por consiguiente; el agua que permanece a disposición de las raíces del cultivo no satisface la demanda agua en la etapa de desarrollo y medio del maíz. Contrariamente, la fase inicial y final de desarrollo del cultivo (mes de agosto octubre) la lluvia efectiva es mayor que la evapotranspiración (ETc).

**Tabla 9.** Necesidad de agua para el cultivo de frijol en época de postrera

<b>Frijol-postrera</b>	<b>A</b>	<b>S</b>	<b>O</b>	<b>N</b>
Kc	0,59	1,19	1,19	0,5
ETP	120	120	108,5	90
Etc	70,8	142,8	129,115	45
PE	90	129,8	130,6	37,4
NA	0	13	0	7,6

El cultivo de frijol, en época de postrera, presenta el mismo comportamiento de déficit hídrico en los meses de septiembre y noviembre. Con base a los registros históricos, las lluvias del mes de octubre permiten disponible de agua para la planta, sin embargo, a partir del mes noviembre las lluvias disminuyen considerablemente, y por consiguiente la evapotranspiración de cultivo es mayor que la lluvia efectiva.

**Tabla 10.** Necesidad de agua para el cultivo de sorgo en época de postrera

<b>Sorgo- postrera</b>	<b>A</b>	<b>S</b>	<b>O</b>	<b>N</b>
Kc	0,44	1,05	1,05	0,35
ETP	120	120	108,5	90
Etc	52,8	126	113,925	31,5
PE	90	129,8	130,6	37,4
NA	0	0	0	0

Y finalmente, para el cultivo de sorgo en época de postrera, no se presenta déficit o necesidad neta de agua en sus distintas etapas de desarrollo. En los meses de agosto a noviembre la precipitación efectiva es mayor que la evapotranspiración del cultivo.

## V. CONCLUSIONES

5.1. Los suelos de la unidad hidrográfica Quebrada Arriba presentan altos riesgos a la degradación por estar siendo utilizados por encima de su potencial de uso en un 67% del área total de la cuenca, dado que son suelos de vocación forestal y protección de la vida silvestre y actualmente son utilizado para la producción de cultivos anuales y pasto con poca cobertura arbórea.

5.2. La capacidad de uso de la tierra muestra que únicamente el 6% de las tierras son de vocación agrícola intensiva clases III; lo que indica que la cuenca no presta las condiciones para la agricultura, siendo la pendiente la mayor limitante.

5.3. La Unidad Hidrográfica Quebrada Arriba presenta condiciones para que se desarrollen procesos erosivos. Las pendientes pronunciadas del terreno (>30 %) son el principal factor que potencia la erosión. A este se suman un tiempo de concentración moderado y densidad de drenaje alto, más aún si consideramos que la curva hipsométrica implica propiedades inestables que no deben despreciarse. La información aportada ofrece un panorama general de la amenaza a las que se exponen las tierras cultivadas en la cuenca y la vulnerabilidad a la pérdida de suelo fértil a causa de escenarios de erosión favorable.

5.4. Otro factor importante que incrementa el potencial erosivo de los suelos es el cambio de usos de la tierra, en lugares destinados protección de recursos naturales y forestal en zona seca.

5.5. El estudio de la variación espaciotemporal de los elementos climáticos (temperatura y precipitación) en la unidad hidrográfica Quebrada Arriba, presenta periodos de déficits de agua severo anualmente, en la medida que las precipitaciones disminuyen y las temperaturas incrementan. Al no alcanzar el suelo el límite de retención de humedad traerá consigo reducción en los rendimientos del cultivo de maíz, frijol y sorgo durante los diferentes ciclos de desarrollo de las plantas.

## **VI. RECOMENDACIONES**

### **6.1. Propuesta de usos de la tierra.**

En la cuenca Quebrada Arriba la propuesta de uso se basa en el establecimiento de sistemas agroforestales, delimitación de zonas de protección y manejo forestal, zonas de protección de recursos hídricos y ecosistemas; y producción intensiva sostenible. El propósito de la zonificación es la recuperación de sistemas degradados, y aprovechamiento de la productividad del suelo con base en su capacidad de uso, condiciones climáticas y especies resistentes al corredor seco (Anexo 11). A continuación, se describen los sistemas propuestos:

#### **Zona de producción intensiva:**

Se localiza en la parte baja de la cuenca y comprende una superficie de 40 hectáreas, equivalentes al 6% del área total de la cuenca. La mayor limitante para la producción de granos básicos es el agua, ya que el territorio se encuentra en el corredor seco de Nicaragua. Esta unidad de tierra se encuentra en pendientes planas a moderadamente onduladas, donde es necesario desarrollar prácticas y obras de conservación de suelos y agua. Además, es requerido el establecimiento de tecnologías de captación y almacenamiento de agua de lluvia por las condiciones de sequía de la cuenca. Puede potenciar el uso de estos suelos, diversificando la producción principalmente con hortalizas y frutales; y variedades de granos básicos de ciclo corto y resistentes a la sequía.

#### **Zona de Producción restringida:**

Zona en relieve plano a fuertemente ondulado, en pendientes menores del 15%. Unidad de tierra apta para la producción de cultivos perennes como jocote, mango, nancite, marañón, tamarindo, marango y jícara. La producción de cultivos anuales debe desarrollarse con obras de conservación de suelos y agua y producción forestal. El desarrollo ganadero demanda un manejo bajo el sistema silvopastoril.

### **Zona agroforestal**

Zona en relieve escarpado a muy escarpados y pendientes mayores al 30%. Por limitaciones severas de clima, erosión y piedra en las superficies, su uso es apropiado para el manejo de bosque natural o plantaciones de latifoliados de valor comercial y energético que se adapten a las condiciones climáticas. Además, se propone la agroforestería de zona seca, que consiste en asociar cultivos anuales durante la etapa de establecimiento de la plantación forestal. Se propone sistemas de arreglo linear (cultivos en callejones y lindero maderables o cercas vivas) o sistema taungya, y manejo animal y pastos bajo cubierta arbórea.

### **Zona de protección y conservación de recursos naturales:**

Esta zona abarca áreas de relieve extremadamente escarpados e implica el desarrollo de estrategias de prácticas sostenibles orientadas a evitar el acelerado proceso de deforestación. Son suelos incipientes, con limitaciones severas de erosión y afloramiento rocoso por lo que su uso es para la protección de recursos naturales. Se ubica en la parte alta de la cuenca y comprende una extensión de 208 hectáreas (32% del área total).

### **Zona de recuperación hidrológica y ecosistémica:**

Esta zona se propone para dirigir esfuerzos para la protección y conservación de la diversidad biológica de la rivera del río de la cuenca, a la vez recuperar el caudal de río. Se ubica a largo de todo el río principal y afluentes existentes en la cuenca; comprende una superficie de 12 hectáreas. se pretende:

Proteger el bosque de galería y tributarios mediante restauración ecológica y mantenimiento de uso potencial del suelo para favorecer el proceso de recarga hídrica supersuperficial; y también Propiciar condiciones para la conservación de Zona de recuperación hidrológica y ecosistémica como corredor ecológico, que favorezcan procesos biológicos en la fauna local o migratoria.

6.2. Es recomendable desarrollar e invertir en procesos de investigación enfocadas en estrategias de manejo sostenible de la tierra a nivel de finca y paisaje en la unidad hidrográfica Quebrada Arriba, además que se desarrollen también estudios enfocados en fechas de siembra y variedades resistentes a sequias.

6.3. A futuro, es necesario profundizar en los factores de presión (demanda de leña) de los recursos naturales y la disponibilidad de agua en la unidad hidrográfica, para proponer alternativas productivas que se adapten a las condiciones del territorio y el clima.

## VII. BIBLIOGRAFIA.

- Acuña, E.; Aguirre, C. (2009). Suelos, capacidad de uso de la tierra y conflictos de uso en el departamento de Rivas. Recuperado de <http://cenida.una.edu.ni/relectronicos/REN30A837.pdf>
- Acuña, E; Zelaya, C; Aguirre, C & Orozco, M. (2006). Diagnóstico de suelo, Vulnerabilidad ante deslizamiento y recursos hídricos superficiales de Santa teresa, Carazo. Recuperado de <http://cenida.una.edu.ni/Textos/np35u58ds.pdf>
- Barrera Rivera, Y.M; Amador Andino, M.V. (2008). Estado de los suelos y recurso hídrico superficial del municipio la conquista, Carazo, Nicaragua (tesis de pregrado). UNA. Managua, Nicaragua. Recuperado de <http://cenida.una.edu.ni./Tesis/tnp32b272.pdf>
- Bendaña, G. (2018). Breve descripción de la situación Agropecuaria e hidrológica del Norte del corredor seco de Nicaragua. Recuperado de <http://www.temasnicas.net/split118/brevecaracterizacion.pdf>
- Bermejo Castillo, M.S. (1998). Caracterización del Recurso Hídrico y edáfico de la cueca del rio Acayo, Santa Teresa, Carazo, Nicaragua (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria. Recuperado de <http://cenida.una.edu.ni/Tesis/tnp10b516.pdf>
- Centro para Investigación de Recursos Acuáticos. (2016). Unidades Hidrográficas de Nicaragua bajo la metodología Pfafstetter. Managua, Nic: UNAN. Recuperado de [http://www.cira.unan.edu.ni/wp-content/uploads/2016/07/Prest\\_NMDC15-Junio-2016\\_TS.pdf](http://www.cira.unan.edu.ni/wp-content/uploads/2016/07/Prest_NMDC15-Junio-2016_TS.pdf)

Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2015). Efecto del cambio climático en las costas de América Latina y el Caribe: Dinámica, tendencias y variabilidad climática. Santiago de Chile: CEPAL. Recuperado de [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/3955/4/S1500961\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/3955/4/S1500961_es.pdf)

Doorrenbos, J y Pruitt, W. 1997. La necesidad de agua de los cultivos. FAO. Serie Riego y drenaje. Tomo 24.

Gámez Morales, W.R. (2010). Texto básico de Hidrología Superficial (1ª ed). Managua, Nicaragua: UNA. Recuperado de <http://cenida.una.edu.ni/Textos/np10g192.pdf>

Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales. (2014). Cuencas Hidrográficas de Nicaragua bajo la Metodología Pfafstetter. Managua, Nic: GIZ Nicaragua. Recuperado de <http://www.ana.gob.ni/DocumentosSiAGUA/slideshow/Album%20Cuencas%20Nic%20Revisado.pdf>

Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales. (2015). Atlas Nacional de suelo. Managua, Nicaragua: INETER.

Instituto de Nicaragüense de Fomento Municipal. (2012). Caracterización del Municipio de Yalagüina. Madriz, Nicaragua: INIFOM. Recuperado de <https://es.scribd.com/doc/137753725/Caracterizacion-Yalaguina-Tgl-2012>

Milán Pérez; J, A. (2016). Riesgo a Desastre: Una interacción entre el medio ambiente y la Sociedad (1ª ed.). Managua, Nicaragua: Ministerio del ambiente y los recursos naturales.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2009). Guía para la descripción de suelo. Roma, Italia. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-a0541s.pdf>

- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (1981). Método de cálculo de balance hídrico: Guía internacional de investigación y métodos. Madrid, España. Recuperado de <http://unesdoc.unesco.org/images/0013/001377/137771so.pdf>
- Porta. J.; López-Acevedo M.; Roquero. C. (2003). Edafología para la Agricultura y el Medio Ambiente. 3 Edición 1999. Editorial. Madrid, España: Mundi-Prensa. Recuperado de <http://site.ebrary.com/lib/unanicaraguasp/reader.action?docID=10227947>
- Reynoso Correa. (2014). Diagnóstico de suelos y aguas superficiales de la sub-cuenca el Río Waswalí, Matagalpa, Nicaragua (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua. Recuperado de <http://cenida.una.edu.ni/Tesis/tnp10r462.pdf>
- Rivera Verami, D. (2016). Método de análisis morfométrica de la red de drenaje de cuencas. Recuperado de <https://es.slideshare.net/zulylopezhuachhua/analisis-morfometrico-de-una-cuenca-2>
- Ruiz, R; Torres, H. (2008). Manual de procedimientos de delimitación y codificación de unidades hidrográficas: UICN SUR. Recuperado de [http://75.98.169.113/uploads/documentos/Anexo\\_3\\_MANUAL\\_DE\\_DELIMITACION\\_Y\\_CODIFICACION\\_UH\\_Sudamerica\\_UICN\\_CAN.pdf](http://75.98.169.113/uploads/documentos/Anexo_3_MANUAL_DE_DELIMITACION_Y_CODIFICACION_UH_Sudamerica_UICN_CAN.pdf)
- Torres Gámez; L, D y Vázquez Méndez, F, J. (2017). Método de mapeo digital para una aproximación la interpretación de la fertilidad de suelos y su relación con el rendimiento de maíz (zea mays), en el municipio de Comacaran, San Miguel, el Salvador (Tesis de pregrado). Universidad De El Salvador. San Migue, San Salvador.
- USDA. (1999). Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo. Washington, DC, E.U. recuperado de [http://eva.una.edu.ni/pluginfile.php/13400/mod\\_resource/content/1/Indicadores%20de%20calidad%20y%20salud%20del%20suelo.pdf](http://eva.una.edu.ni/pluginfile.php/13400/mod_resource/content/1/Indicadores%20de%20calidad%20y%20salud%20del%20suelo.pdf)

## VIII. ANEXOS

### Anexo 1. Descripción de perfil representativo del Subgrupo *Typic Haplusteps*

Horizonte	Características
A 0 a 25 cm	Color 10YR 3/2, textura franco arcillosa, estructura granular compuesta, consistencia friable en húmedo, No plástico y no adhesivo en mojado, abundantes microporos, límite difuso y ondulado. Con pH muy ligeramente ácido (6.62), contenido alto de materia orgánica (4.27%), pobre en fósforo (0.31 ppm) y alto en potasio disponible (0.12 meq/100 gr), CIC media (20.84 meq/100 gr de suelo) y saturación de bases de 97.29%.
Bw <sub>1</sub> 25 a 53 cm	Color 7.5YR 3/3, textura arcillosa con presencia de grava, estructura en bloques subangular de media a fina, consistencia friable en húmedo y plástica y adhesiva en mojado, abundantes microporos y mesoporos, límite difuso y ondulado. Con pH neutro (6.78), pobre en materia orgánica (1.42%), pobre en fósforo (0.37 ppm) y alto en potasio disponible (0.08 meq/100 gr), CIC media (18.13 meq/100 gr de suelo) y saturación de bases de 99.49%.
Bw <sub>2</sub> 53 a 82 cm	Color 7.5YR 4/6, textura arcillosa con mayor presencia de grava, estructura en bloques angulares y subangulares, consistencia firme en húmedo, plástica y adhesiva en mojado, límite difuso y ondulado. Con pH neutro (7.07), pobre en materia orgánica (1.0%), pobre en fósforo (0.71) y alto en potasio disponible (0.24 meq/100 gr), CIC media (21.26 meq/100 gr de suelo) y saturación de bases de 100.4%.
Cr +82 cm	<b>Riolita, ignimbritas, basalto</b>

**Anexo 2.** Descripción del Perfil representativo del Subgrupo *Typic Argiustolls*

<b>Horizonte</b>	<b>Características</b>
A1 0 a 23 cm	Color 10YR 3/1, textura franco arcillosa limosa, estructura granular compuesta, consistencia friable en húmedo, plástico y adhesivo en mojado, abundantes fino y abundante mesoporos, límite difuso y ondulado. Con pH neutro (7.16), contenido alto de materia orgánica (4.90%), pobre en fósforo (8.39 ppm) y alto en potasio disponible (0.70 meq/100 gr), CIC alta (28.55 meq/100 gr de suelo) y saturación de bases de 99.96%.
A2 23 a 50 cm	Color 10YR 3/1, textura franco arcillosa limosa, estructura granular compuesta, consistencia friable en húmedo y plástica y adhesiva en mojado, abundantes finos y abundantes mesoporos, límite difuso y ondulado. Con pH muy ligeramente alcalino (7.41), medio contenido en materia orgánica (3.59%), pobre en fósforo (1.61) y alto en potasio disponible (0.38 meq/100 gr), CIC alta (34.7 meq/100 gr de suelo) y saturación de bases de 68.10%.
Bt <sub>1</sub> 50 a 87 cm	Color 5YR 2/2, textura arcillosa, estructura en bloques subangulares y medios, consistencia friable en húmedo, plástica y adhesiva en mojado, límite difuso y ondulado. Con pH muy ligeramente alcalino (7.45), pobre en materia orgánica (1.95%), pobre en fósforo (0.10) alto en potasio disponible (0.96 meq/100 gr), CIC alta (32.13 meq/100 gr de suelo) y saturación de bases de 100.2%.
Cr +87 cm	<b>Basalto</b>

**Anexo 3.** Descripción del Perfil representativo del Subgrupo *Typic Haplustalf*.

<b>Horizonte</b>	<b>Características</b>
A1 0 a 31 cm	Color 10YR 3/3, textura arcillosa con 5% grava, estructura en bloques subangular, consistencia firme en húmedo, plástico y adhesivo en mojado, abundantes microporos, límite difuso y ondulado. Con pH ligeramente ácido (6.5), contenido medio de materia orgánica (2.96%), pobre en fósforo (1.1 ppm) y alto en potasio disponible (0.29 meq/100 gr), CIC alta (39.5 meq/100 gr de suelo) y saturación de bases de 74.2%.
Bt <sub>1</sub> 31 a 48 cm	Color 10YR 3/3 mota 3% 10 YR 4/6 mota 3% 10 YR 3/3 textura arcillosa con 5% grava, estructura bloques angulares y subangulares, consistencia friable en húmedo y plástica y adhesiva en mojado, abundantes microporos, límite difuso y ondulado. Con pH ligeramente ácido (6.29, pobre en materia orgánica (0.9%), pobre en fósforo (n.d.) y medio en potasio disponible (0.22 meq/100 gr), CIC alta (34.7 meq/100 gr de suelo) y saturación de bases de 76.3%.
Bt <sub>2</sub> 48 a 83 cm	Color 10YR 6/6, mota 3% 10 YR 3/3 textura arcillosa con 10% grava, estructura en bloques subangulares y angulares, consistencia friable en húmedo, plástica y adhesiva en mojado, abundante microporos, límite difuso y ondulado. Con pH ligeramente ácido (6.4), pobre en materia orgánica (0.23%), pobre en fósforo (n.d.) y potasio disponible (0.09 meq/100 gr), CIC muy alta (42.1 meq/100 gr de suelo) y saturación de bases de 70.6%.
C <sub>1</sub> 83-100 cm	Color 10YR 4/4, textura arcillosa arenosa presencia de rocas basálticas, estructura en bloques moderados a finos, consistencia friable en húmedo y ligeramente plástico-ligeramente adhesivo en mojado, abundante microporos, limite claro. Con pH ligeramente ácido (6.4), pobre en materia orgánica (0.23%), pobre en fósforo (n.d.) y potasio disponible (0.09 meq/100 gr), CIC muy alta (42.1 meq/100 gr de suelo) y saturación de bases de 70.6%.
C <sub>2</sub> > 100 cm	Color 10YR 4/3, textura arcillosa limosa, estructura masiva <b>Riolita, ignimbritas, basalto</b>

**Anexo 4.** Descripción del Perfil representativo del Subgrupo *Typic Calciustepts*

<b>Horizonte</b>	<b>Características</b>
A <sub>1</sub> 0 a 32 cm	Color 10YR 3/2, textura franco arcillosa, estructura bloques moderados gruesos, consistencia friable en húmedo, ligeramente plástico y adhesivo en mojado, abundantes microporos y abundante mesoporos, límite difuso y ondulado. Con pH ligeramente ácido (6.5), contenido medio de materia orgánica (2.96%), pobre en fósforo (1.1 ppm) y alto en potasio disponible (0.29 meq/100 gr), CIC alta (39.5 meq/100 gr de suelo) y saturación de bases de 74.2%.
A <sub>2</sub> 32 a 57 cm	Color 10YR 2/1, textura franco arcillosa limosa, estructura bloques subangulares y angulares, consistencia muy friable en húmedo y plástica y adhesiva en mojado, abundantes microporos y abundante mesoporos, límite difuso y ondulado. Con pH ligeramente ácido (6.29), pobre en materia orgánica (0.9%), pobre en fósforo (n.d.) y medio en potasio disponible (0.22 meq/100 gr), CIC alta (34.7 meq/100 gr de suelo) y saturación de bases de 76.3%.
Bw <sub>1</sub> 57 a 85 cm	Color 10YR 3/2, textura arcillosa-limosa, estructura en bloques subangulares y angulares medios, consistencia muy friable en húmedo, plástica y adhesiva en mojado, abundantes microporos y abundante mesoporos, límite difuso y ondulado. Con pH ligeramente ácido (6.4), pobre en materia orgánica (0.23%), pobre en fósforo (n.d.) y potasio disponible (0.09 meq/100 gr), CIC muy alta (42.1 meq/100 gr de suelo) y saturación de bases de 70.6%.
Bw <sub>2</sub> +85 cm	Color 10YR 3/2, Textura Arcillosa, estructura en bloques y prismas, consistencia extremadamente firme en húmedo y plástico adhesivo en mojado, abundantes microporos y abundante mesoporos, límite difuso y ondulado. Con pH ligeramente ácido (6.4), pobre en materia orgánica (0.23%), pobre en fósforo (n.d.) y potasio disponible (0.09 meq/100 gr), CIC muy alta (42.1 meq/100 gr de suelo) y saturación de bases de 70.6%.

**Anexo 5.** Sistema de clasificación del tipo de relieve en función al tipo de pendiente

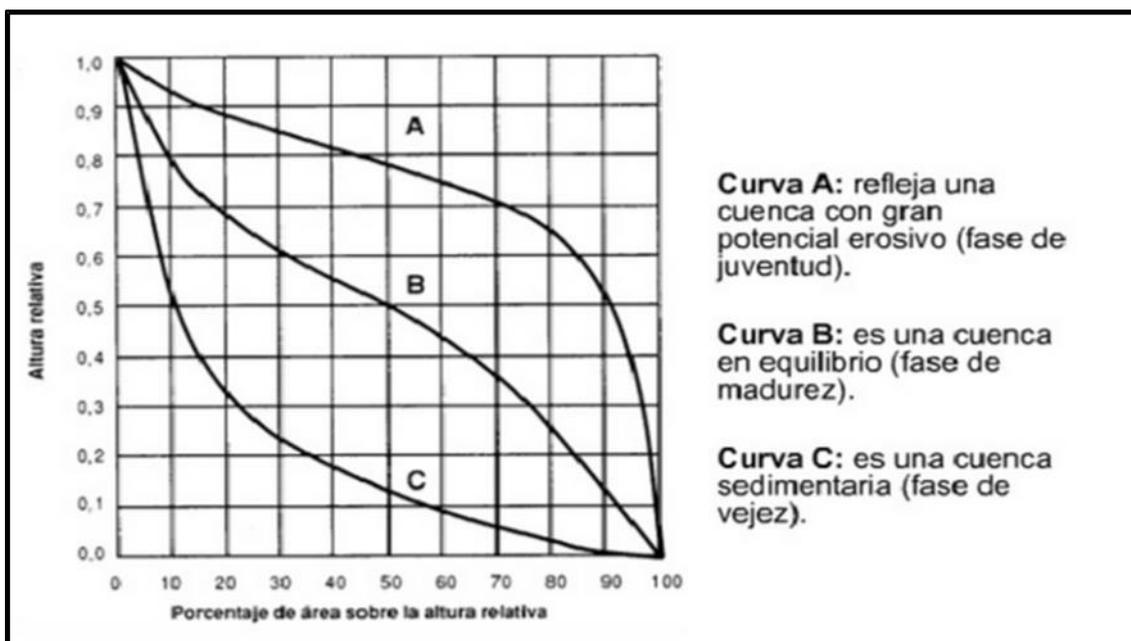
Clase	Intervalo (%)	Forma del terreno	Nivel susceptibilidad
A	0-2	Plano casi plano	Muy bajo
B	2-4	Suavemente inclinado	Bajo
C	4-8	Inclinado	Moderado
D	8-15	Moderadamente escarpado	Moderado
E	15-30	Escarpado	Alto
F	30-45	Muy escarpado	Muy alto
F	>45	Extremadamente escarpado	Muy alto

**Anexo 6.** Formato para determinar curva Hipsométrica

Cota mínima	Cota máxima	promedio	Área acumulada (km <sup>2</sup> )	Área en porcentaje
		Min+Max/2	Σ área entre curvas de todos los intervalos	Acumulado del área de cada intervalo entre Σ área entre curvas de todos los intervalos por 100
			resultado de la primera fila - área entre curvas de la primera fila o el primer intervalo	
			resultado de la segunda fila - área entre curvas de la segunda fila o segundo intervalo	

Fuente. Curva hipsométrica. Fuente Gámez Morales, W. Texto Básico de Hidrología. UNA. 2009

## Anexo 7. Modelo de curvas hipsométricas



Fuente: Modelo de curvas hipsométricas del ciclo de erosión. (Senciales y Ferre, 1999)

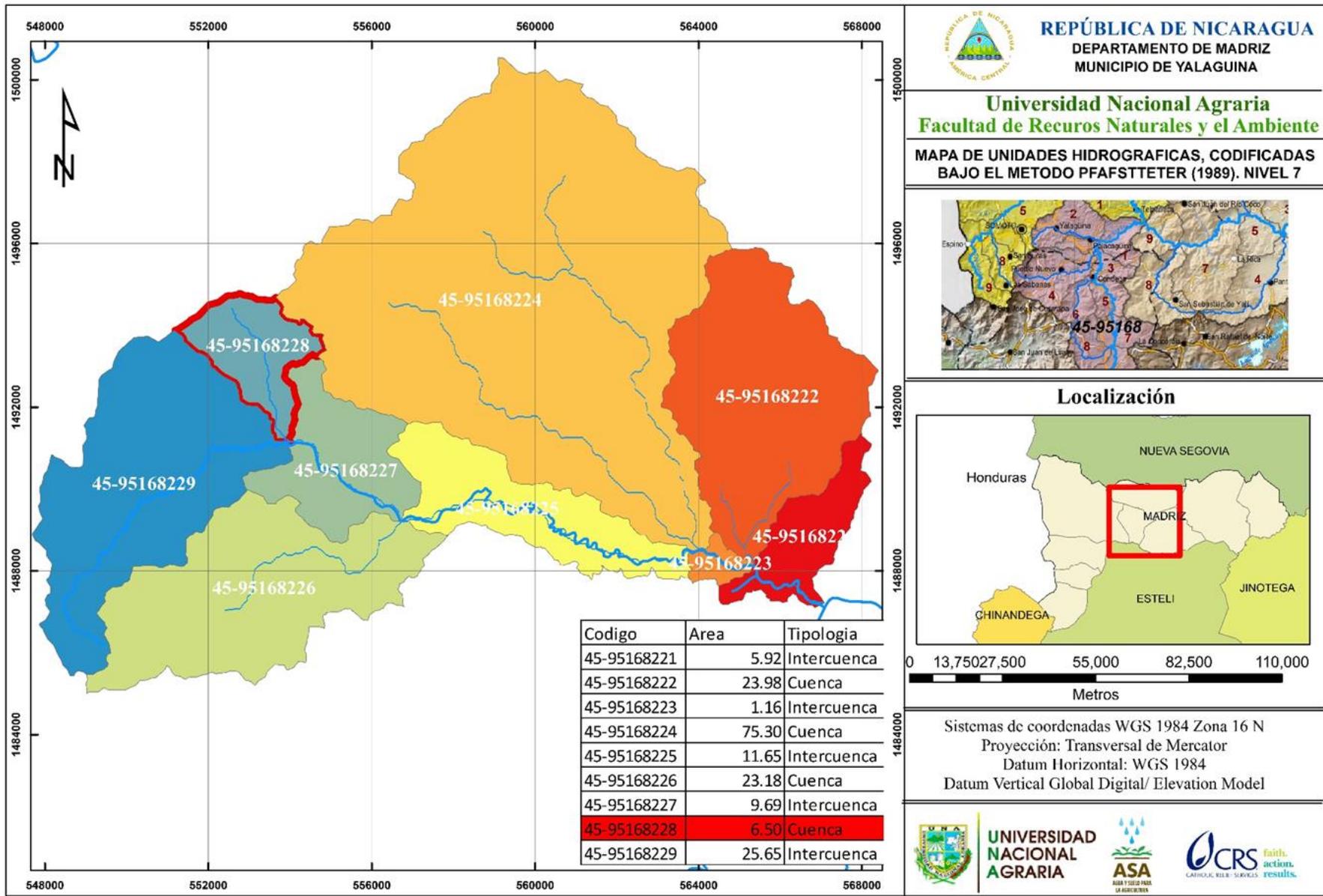
## Anexo 8. Clases de drenaje según densidad

Densidad de drenaje	Clase
+3.5	Muy alta
2.5-3.5	Alta
1.5-2.5	Moderada
0.2-1.5	Baja
<0.5	Muy baja

**Anexo 9.** Descripción geomorfológica de unidades de suelo



Anexo 10. Unidades hidrográficas, delimitadas y codificadas bajo la metodología Pfafstetter, nivel 7



Anexo 11. Mapa de propuesta de uso de la tierra.

