

UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA

**ANÁLISIS HIDROLÓGICO Y DE USOS DE SUELO EN SEIS
MICROCUENCAS TRIBUTARIAS DEL LAGO DE YOJOA, HONDURAS.**

TESIS



CATACAMAS

OLANCHO

SEPTIEMBRE, 2024

**ANÁLISIS HIDROLÓGICO Y DE USOS DE SUELO EN SEIS
MICROCUENCAS TRIBUTARIAS DEL LAGO DE YOJOA, HONDURAS.**

POR:

ERLIN DARITH ESPINAL CUADRA

JORGE ORBIN CARDONA

Asesor Principal

TESIS

**PRESENTADA A LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA COMO
REQUISITO PRIVIO A LA OBTENCIÓN DE TÍTULO DE INGENIERO EN
GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RECURSOS NATURALES**

CATACAMAS, OLANCHO

HONDURAS C.A

SEPTIEMBRE, 2024

DEDICATORIA

A **DIOS** en primer lugar, por la sabiduría, por la fuerza y por nunca dejarme solo en ningún momento y gracias a el pude superar todos los obstáculos.

A mis padres, **Erlin Adonay Espinal y Mirna Araceli Cuadra**, cuyo apoyo y amor incondicional nunca me faltó y fue muy esencial al momento de realizar mi TESIS y por acompañarme en todo momento y apoyarme desde el inicio de mi carrera universitaria y gracias a ellos estoy ya por culminar esta hermosa etapa de mi vida

A mi hermanita **Emily Ariadna Espinal**, ya que yo quiero ser un buen ejemplo para ella.

Y, por último, pero no menos importante a **Isis Yuliana Catillo**, por apoyarme en todo el proceso y de la cual nunca me faltó su amor y fue parte fundamental en el desarrollo de mi TESIS.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primeramente a **Dios**, que gracias a el pude superar todos los momentos difíciles y permitió que llegara a esta instancia de mi carrera universitaria.

Al **M.Sc. Jorge Orbin Cardona**, por su paciencia y todo el tiempo que estuvo a disposición para guiarme e instruirme de principio a fin en el desarrollo de esta investigación, y también al **M.Sc. Ramón León Canaca** y al **M.Sc. Jorge Luis Escobar**, por el tiempo para orientarme en este proceso.

Agradezco a mis amigos y compañeros y amigos del **Cuarto 45 H-5: Pablo Flores, Josue Castillo, Jonathan Cuello, Oscar Aguirre, Diego Gallegos y Alan Lovo**, por estos 4 años de una gran amistad y motivarme a seguir adelante. También a **Lucy Flores** por estar siempre a disposición también por ser una gran persona, amiga y de corazón muy noble.

ESPINAL CUADRA, E. D. (2024). Análisis hidrológico y de usos de suelo en seis microcuencas tributarias del Lago de Yojoa, Honduras. Universidad Nacional de Agricultura, Olancho, Honduras. Tesis. Ing. En Gestión Integral de los Recursos Naturales. Catacamas, Olancho, Honduras, C.A. 74 p.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se centra en el análisis hidrológico y de usos de suelo en seis microcuencas tributarias del Lago de Yojoa, Honduras. Este estudio tiene como objetivo principal evaluar la dinámica hidrológica y la distribución del uso del suelo en la región, proporcionando un perfil climatológico detallado y desarrollando modelos hidrológicos conceptuales para cada microcuenca. La investigación revela cómo las variaciones en la precipitación y la temperatura, influenciadas por fenómenos climáticos como El Niño y La Niña, impactan en el caudal de los ríos y la disponibilidad de recursos hídricos. Así mismo, se identifica la pérdida de cobertura vegetal y la expansión de actividades agrícolas y urbanas como factores clave que afectan la salud del ecosistema del lago. Los resultados destacan la importancia de una gestión adecuada del suelo y la conservación de los bosques para mitigar los efectos adversos del cambio climático y asegurar la sostenibilidad de los recursos naturales en la cuenca del Lago de Yojoa.

CONTENIDO

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTOS.....	ii
RESUMEN	iii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS	2
2.1. Objetivo general	2
III. REVISIÓN DE LITERATURA	3
3.1. Información general de la Cuenca del Lago de Yojoa.....	3
3.1.1. Geología.....	3
3.2. Importancia del buen uso del suelo	3
3.3. Impacto del uso de suelos en la calidad del agua del Lago de Yojoa.....	4
3.4. Concepto de modelos hidrológicos conceptuales.....	5
3.4.1. Modelo hidrológico distribuido TETIS	6
3.5. Proceso de modelación.....	6
3.6. Algunos métodos de evaluación del uso de suelos en estudios de cuencas. ..	6
3.6.1. Análisis visual e interpretación de imágenes satelitales	7
3.6.2. Modelos de simulación.....	7
3.7. Estudios previos sobre el uso de suelos en las microcuencas del Lago de Yojoa.	7
3.8. Características climáticas en Honduras y la región del Lago de Yojoa.....	8
3.8.1. Precipitación en Honduras	8
3.8.2. Precipitación del lago de Yojoa	8
3.9. Variabilidad climática en Honduras	9
3.9.1. Variabilidad climática en la cuenca del Lago de Yojoa	9
3.10. Datos climatológicos históricos de Honduras y cuenca del Lago de Yojoa.	10
3.11. Efectos del cambio climático en la cuenca del Lago de Yojoa	11
3.11.1. Clima del Lago de Yojoa	11
3.11.2. Aumento de las temperaturas	11
3.11.3. Cambios en los patrones de lluvia	12
3.11.4. Mayor frecuencia e intensidad de eventos climáticos extremos.....	12
3.12. Relación entre el clima y los recursos hídricos en la cuenca.	12

IV. MATERIALES Y MÉTODOS	13
4.1. Descripción del área de estudio	13
4.2. Materiales y Equipo	15
4.3. Método.....	15
4.3.1. Perfil climatológico	15
4.3.2. Elaboración de modelos hidrológicos conceptuales.....	16
4.3.3. Determinación de uso de suelo.....	17
a. Mapas de Uso del Suelo Actuales.....	17
b. Mapas de Zonificación Urbana.....	17
4.3.4. Validación de sistemas de georreferenciación	18
a. Comparar con fuentes de datos externos	19
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	20
5.1. Perfil Climatológico	20
5.1.1. Precipitación Satelital del Lago de Yojoa1994-2024.....	20
5.1.2. Temperatura Lago de Yojoa 1994-2024	25
5.2. Modelos hidrológicos.....	31
5.2.1. Precipitación y caudales simulados de las 6 microcuencas del Lago de Yojoa	31
5.2.2. Discusión y gráficas simuladas para las 6 microcuencas	34
5.3. Uso de Suelo.....	41
5.3.1. NDVI y Uso de Suelo para la Microcuenca Balas	41
5.3.2. NDVI y Uso de Suelo Microcuenca Monte Verde	42
5.3.3. NDVI y Uso de Suelo Microcuenca Quebradona	44
5.3.4. NDVI y Uso de Suelo Microcuenca Raíces	46
5.3.5. NDVI y Uso de Suelo Microcuenca Varsovia	48
5.3.6. NDVI y Uso de Suelo Microcuenca Yure.....	50
5.3.7. Comparación de áreas del NDVI.....	52
VI. CONCLUSIONES.....	55
VII. RECOMENDACIONES	56
VIII. BIBLIOGRAFIA	57
IX. ANEXOS	62

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Mapa de Ubicación Lago de Yojoa, Honduras	14
Figura 2 Gráfico de series temporales de precipitación satelital anual 1994-2024 Lago de Yojoa, Honduras.....	20
Figura 3 Descomposición Aditiva de la Serie Temporal de Precipitación en la del Lago de Yojoa 1994-2024	21
Figura 4 Diagrama de Caja y Bigotes de precipitación del Lago de Yojoa.	23
Figura 5 Variación Estacional de la Temperatura en el Lago de Yojoa 1994-2024	25
Figura 6 Tendencia Temporal de la Temperatura en el Lago de Yojoa 1994-2024	26
Figura 7 Descomposición Aditiva de la Serie Temporal de Temperatura en el Lago de Yojoa 1995-2024	28
Figura 8 Diagrama de Caja y Bigotes de temperatura del Lago de Yojoa.....	29
Figura 9 Precipitación y Caudal de la Microcuenca de Balas.....	31
Figura 10 Precipitación y Caudal de la Microcuenca de Monte Verde	31
Figura 11 Precipitación y Caudal de la Microcuenca de Quebradona.....	32
Figura 12 Precipitación y Caudal de la Microcuenca de Raíces	32
Figura 13 Precipitación y Caudal de la Microcuenca de Varsovia.....	33
Figura 14 Precipitación y Caudal de la Microcuenca de Yure	33
Figura 16 Simulación de Caudales Mensuales Medios Microcuenca Balas	34
Figura 18 Simulación de Caudales Mensuales Medios Microcuenca Monte Verde.....	35
Figura 17 Curva de Duración de Caudales Microcuenca Monte Verde	35
Figura 15 Curva de Duración de Caudales Microcuenca Balas.....	34
Figura 22 Simulación de Caudales Mensuales Medios Microcuenca Raíces	36
Figura 20 Simulación de Caudales Mensuales Medios Microcuenca Quebradona.....	35
Figura 19 Curva de Duración de Caudales Microcuenca Quebradona	35
Figura 21 Curva de Duración de Caudales Microcuenca Raíces	36
Figura 24 Simulación de Caudales Mensuales Medios Microcuenca Varsovia	36
Figura 23 Curva de Duración de Caudales Microcuenca Varsovia.....	36
Figura 26 Simulación de Caudales Mensuales Medios Microcuenca Yure.....	37
Figura 25 Curva de Duración de Caudales Microcuenca Yure	37
Figura 27 NDVI y Uso de Suelo en Microcuencas Balas	41
Figura 28 NDVI y Uso de Suelo de Microcuenca Monte Verde.....	43
Figura 29 NDVI y Uso de Suelo Microcuenca Quebradona	45
Figura 30 NDVI y Uso de Suelo Raíces.....	47
Figura 31 NDVI y Uso de Suelo Microcuenca Varsovia	49
Figura 32 NDVI y Uso de Suelo Microcuenca Yure	51

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Comparación de áreas de NDVI	53
Tabla 2 Comparación de áreas de Uso de suelo	53

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1 Medición de Caudales	62
Anexo 2 Toma de puntos para la elaboración de Mapas de uso de suelo	63
Anexo 3 Toma de datos de la estación meteorológica	64

I. INTRODUCCIÓN

El lago de Yojoa, ubicado en el noroeste de Honduras, representa un recurso hídrico de vital importancia para la región y un ecosistema de gran diversidad biológica. En el artículo de Lanza (2021) se dice que además, la reserva natural tiene una longitud de 16 kilómetros (km) y un ancho de 6 km, una profundidad máxima de 25 metros (m) y una profundidad promedio de 16 m. Deriva su nombre de “**Yoco-ha**” que en lengua Maya significa (agua acumulada sobre la tierra), su origen es volcánico, prueba de ello es la cantidad de sedimentación y ceniza volcánica que se encuentra en sus alrededores.

En las últimas décadas, este importante cuerpo de agua ha experimentado una serie de desafíos ambientales, particularmente relacionados con la gestión de sus microcuencas tributarias y los cambios en los usos de suelo en la zona circundante.

El Lago de Yojoa ostenta la categoría de "Área de Usos Múltiples", lo que conlleva una diversidad de actividades en su entorno que impactan directa o indirectamente en su ecosistema. Como lo menciona Otero (2011) esta designación ha sido sometida al lago a una intensa presión ambiental, ya que una variedad de actores se beneficia de su explotación de diversas maneras. Entre estas actividades, destacan la minería de metales pesados, la agricultura, la acuicultura, la ganadería, la hostelería y la generación de energía eléctrica, todas las cuales inciden en el bienestar del lago y en la calidad de sus aguas.

Por esto, la presente investigación tiene el propósito de analizar de una manera y detallando lo que son los modelos hidrológicos conceptuales y usos de suelo en las microcuencas tributarias del lago de Yojoa, Honduras. También definir lo que es un perfil climatológico, determinar modelos hidrológicos, y que esto sirva de algún modo en lo que es la concientización de las personas para cambien el uso de suelos y darse cuenta de la crisis climática que están sufriendo.

II. OBJETIVOS

2.1.Objetivo general

- Analizar la dinámica hidrológica y uso del suelo en seis microcuencas del Lago de Yojoa.

2.2.Objetivos específicos

- Definir el perfil climatológico imperante en la cuenca del Lago de Yojoa, Honduras.
- Determinar los modelos hidrológicos conceptuales de las seis microcuencas.
- Identificar el uso del suelo actual en las seis microcuencas en estudio.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. Información general de la Cuenca del Lago de Yojoa

Según Mejía (2011) el área de drenaje abarca alrededor de 441.38 kilómetros cuadrados y se compone de doce microcuencas. De estas doce microcuencas, diez son afluentes naturales que desembocan en el lago. Estas dos áreas corresponden a las zonas altas de los ríos Yure y Varsovia, y se utilizan para canalizar agua hacia el lago mediante sistemas artificiales con el fin de aumentar el nivel del agua y generar energía eléctrica.

En 2005, desde las microcuencas tributarias, ingresaron al lago un total de 68,541 toneladas de sedimentos (E. Vargas 2006). No cabe duda de que, al cabo de 60 años, las cantidades son tremendamente significativas. La sedimentación es un enemigo silencioso que le reduce área, profundidad e impacta la calidad del agua (UNAH 2023).

3.1.1. Geología

Al oeste y sur del lago se encuentra áreas grandes de roca caliza del Grupo Yojoa, formación Atima, del periodo Cretáceo (66-136 millones de años). En el norte hay grandes extensiones de rocas volcánicas del periodo Cuaternario (de 10,000 hasta 2.5 millones de años) que llevan el nombre de Roca Volcánica del Yojoa. En el este hay rocas más antiguas: del periodo Terciario el Grupo Padre Miguel (2.5-66 millones de años), del periodo Cretáceo el Grupo Valle de Ángeles (66-136 millones de años) y hasta del Jurásico el Grupo Honduras (136-195 millones de años) (House 2002).

3.2. Importancia del buen uso del suelo

Una gestión adecuada del suelo constituye un factor esencial en la agricultura sostenible, es valioso para regular el clima y salvaguardar los servicios ecosistémicos y la

biodiversidad. Los suelos saludables son un requisito previo básico para satisfacer las diversas necesidades de alimentos, biomasa (energía), fibra, forraje y otros productos, y para garantizar la prestación de los servicios ecosistémicos esenciales en todas las regiones del mundo (Olivera Sánchez y Avellaneda Torres 2018).

Además Dourojeanni *et al.* (2002) mencionan que los cambios en el uso de los recursos naturales, principalmente la tierra, aguas arriba acarrearán una modificación del ciclo hidrológico dentro de la cuenca aguas abajo en cantidad, calidad, oportunidad y lugar. Es por esta razón que es en el ámbito de una cuenca donde se puede lograr una mejor integración entre la gestión y el aprovechamiento del agua, por un lado, y las acciones de manejo, explotación y control de uso de otros recursos naturales que tienen repercusiones en el sistema hídrico, por el otro.

3.3. Impacto del uso de suelos en la calidad del agua del Lago de Yojoa.

Studer (2007) habla sobre que la contaminación por metales pesados representa actualmente un riesgo bajo para la salud de los organismos, dado que los metales no están biodisponibles. Sin embargo, las altas concentraciones de metales en el sedimento sugieren un potencial de contaminación muy alto.

Los conflictos de uso de suelo y del agua, causan presiones ambientales que, tienen casi todos algún impacto sobre la calidad del agua. Esta parte principal del presente trabajo enfoca la contaminación ambiental y la modificación del régimen hídrico natural que tienen directa e indirectamente un impacto para la calidad del agua del lago, se hizo la clasificación siguiente:

- Contaminación por metales pesados
- Contaminación por nutrientes
- Contaminación fecal
- Contaminación por plaguicidas
- Modificación del régimen hídrico natural (contaminación física)(Studer 2007).

Según Acosta-Rivera (2018) dice que la calidad del agua en el lago de Yojoa se ha deteriorado por diversas actividades de desarrollo en la subcuenca como; el cultivo de peces en jaula a escala industrial, la actividad agrícola y pastoreo de ganado en los humedales del lago, además de vertidos de aguas residuales municipales y particularmente por vertidos de aguas residuales procedente de la industria minera con alto contenido de metales pesados. Asimismo, por la modificación de su morfología natural para la generación hidroeléctrica.

3.4. Concepto de modelos hidrológicos conceptuales

Representación matemática simplificada de alguno o todos los procesos del ciclo hidrológico por medio de un conjunto de conceptos hidrológicos expresados en forma matemática y ligados por una secuencia espaciotemporal que se corresponde con la que se produce en la naturaleza. Los modelos hidrológicos conceptuales se aplican en la simulación del comportamiento de una cuenca (WMO 2012).

Los modelos hidrológicos conceptuales son representaciones simplificadas de los procesos hidrológicos en una cuenca o sistema acuático. Estos modelos utilizan leyes físicas simplificadas para simular el comportamiento del agua, como la precipitación, la escorrentía y la infiltración. Los modelos conceptuales consideran algunos de los procesos internos del modelo y utilizan una representación matemática simplificada de los procesos del ciclo hidrológico (Cabrera 2012).

Asimismo, suele hablarse de modelos “conceptuales” o “de caja gris” cuando se trabaja con modelos en los cuales se conocen algunos de los procesos internos del modelo. En general, los modelos conceptuales consideran leyes físicas en forma simplificada. Entre estos se puede mencionar al modelo abc y el modelo HBV (Cabrera 2012).

3.4.1. Modelo hidrológico distribuido TETIS

El modelo hidrológico distribuido TETIS es un modelo basado en una conceptualización del tipo tanque, donde el agua se mueve hacia abajo siempre que no se excede la capacidad del tanque (Meléndez *et al.* 2021).

3.5. Proceso de modelación

El primer paso en cualquier modelización hidrológica consiste en establecer un "modelo perceptual", lo que significa que se debe determinar cuáles son los procesos y variables clave que participan en la creación de caudales. Este proceso implica la observación y análisis de las características del suelo, subsuelo y clima como elementos fundamentales, y la identificación de los procesos más significativos que influyen en la formación de escorrentía, como la evaporación, evapotranspiración, infiltración, humedad del suelo, flujo subterráneo, entre otros (Meléndez *et al.* 2021).

En la construcción de un modelo conceptual, es fundamental identificar los procesos y variables clave que influyen en el comportamiento hidrológico de la cuenca. Una vez definidos, estos componentes deben ser interrelacionados mediante ecuaciones que describan las relaciones entre ellos. Este modelo conceptual no solo establece las bases para la simulación hidrológica, sino que también incorpora coeficientes y parámetros que serán ajustados en etapas posteriores mediante un proceso de calibración para asegurar que el modelo refleje adecuadamente la realidad observada (Jorquera 2012).

3.6. Algunos métodos de evaluación del uso de suelos en estudios de cuencas.

Según Naturales (1999) es crucial recopilar una cantidad significativa de información sobre la ubicación y las características del suelo. Los parámetros que indican la calidad del suelo deben ser analizados en relación con las particularidades del lugar y las condiciones climáticas. Durante la evaluación de la calidad del suelo, se debe completar un formulario denominado "Descripción del sitio para la calidad del suelo". A continuación, se presentan algunos aspectos que deben ser tenidos en cuenta al llevar a cabo una valoración in situ de la calidad del suelo.

3.6.1. Análisis visual e interpretación de imágenes satelitales

Este método consiste en analizar imágenes satelitales de la cuenca para identificar y clasificar los diferentes tipos de uso de suelos. Se utilizan técnicas de teledetección y sistemas de información geográfica (SIG) para realizar esta evaluación. (Guillen *et al.* 2014)

3.6.2. Modelos de simulación

Se utilizan modelos de simulación hidrológica para evaluar el impacto del uso de suelos en la calidad y cantidad del agua en la cuenca. Estos modelos permiten predecir cómo los cambios en el uso de suelos pueden afectar la escorrentía, la erosión del suelo y la calidad del agua (Guillen *et al.* 2014)

3.7. Estudios previos sobre el uso de suelos en las microcuencas del Lago de Yojoa.

La investigación hecha por Andino Mejía (2005) informa que el estudio se basa en un enfoque sistémico que comprende tres etapas: identificación, caracterización y diseño de elementos de planificación para los servicios ambientales en la subcuenca. En el caso de la microcuenca El Cianuro, se identificó una oferta y demanda significativa de agua potable, pero se señala que gran parte de la oferta hídrica no se utiliza de manera efectiva, lo que sugiere la necesidad de proyectos de infraestructura para canalizar el agua a los usuarios. A nivel de la subcuenca, se empleó una evaluación ponderada que consideró criterios socioeconómicos, biofísicos y sociales para categorizar las microcuencas en términos de suministro de agua potable.

La subcuenca del Lago de Yojoa en Honduras enfrenta graves amenazas de contaminación ambiental debido al crecimiento poblacional, la intensificación de la

producción y conflictos de uso del suelo. El Gobierno de Honduras, a través del Centro de Estudios y Control de Contaminantes (CESCCO), está desarrollando un Programa de Vigilancia Ambiental con un Sistema de Indicadores Ambientales. El estudio se enfoca en recopilar y analizar información, destacando la urgente contaminación fecal con altas concentraciones de coliformes en el lago. Aunque la contaminación por metales pesados tiene bajo riesgo actual, las altas concentraciones en el sedimento indican un peligro potencial. (Studer 2007).

3.8.Características climáticas en Honduras y la región del Lago de Yojoa.

Honduras, incluyendo la región del Lago de Yojoa, presenta un clima cálido y tropical en las áreas bajas cercanas a la costa, con temperaturas promedio anuales que varían entre 26 y 29°C. En las zonas elevadas, el clima se vuelve más suave, con temperaturas promedio anuales que oscilan entre 16 y 24°C. El país experimenta una estación seca, que corresponde al período de noviembre a abril (conocido como verano), y una estación húmeda, que abarca de mayo a octubre (conocida como invierno), con un breve respiro en julio/agosto llamado la "canícula" (Honduras - Climatology | Climate Change Knowledge Portal 2021).

3.8.1. Precipitación en Honduras

Según Honduras - Climatology | Climate Change Knowledge Portal (2021) la precipitación promedio anual en Honduras varía a lo largo del país. El interior montañoso central tiene la precipitación media anual más baja, oscilando entre 800 y 2000 mm, mientras que la costa del Caribe tiene la precipitación media anual más alta, superando los 2000 mm. Las precipitaciones en la costa del Caribe ocurren durante todo el año, mientras que la costa del Pacífico y las tierras altas del interior experimentan una estación seca.

3.8.2. Precipitación del lago de Yojoa

Según Zuniga (1990) en la parte este del Lago de Yojoa, que va desde Peña Blanca, en el oeste, hasta el Cerro Azul Meambar, en el este, recibe más de 3,000 mm de lluvia anualmente. La estación meteorológica El Jaral, en la parte este del Lago, tiene la precipitación más alta de Honduras: 3,235 mm, convirtiéndose esta zona en una de las más húmedas del país; pasando del este al sur, el promedio de lluvia anual baja, llegando en Pito Solo a 2,500 mm. Desde el norte hasta el sur de la cuenca, la precipitación baja a más de 1,000 mm. La parte más seca de la región del lago se ubica en San Pedro Zacapa, que sólo recibe 1,600 mm como promedio anual.

3.9. Variabilidad climática en Honduras

El concepto de variabilidad climática denota las variaciones del estado medio y otras características estadísticas (desviación típica, sucesos extremos, etc.) del clima en todas las escalas espaciales y temporales más amplias que las de los fenómenos meteorológicos. La variabilidad puede deberse a procesos internos naturales del sistema climático (variabilidad interna) o a variaciones del forzamiento externo natural o antropógeno (variabilidad externa) (Lauro *et al.* 2008).

Debido a su ubicación geográfica el clima de Honduras es de características tropicales, sin embargo, la orografía hondureña y su interacción con los vientos que soplan sobre el territorio y los fenómenos tropicales, como ondas y ciclones, generan microclimas que van desde el tropical seco hasta el tropical húmedo. La orientación de las sierras hondureñas juega un rol muy importante en el régimen de precipitación estableciendo diferencias bien marcadas entre el litoral Caribe, la región intermontana y el sur del país (Argeñal 2010).

3.9.1. Variabilidad climática en la cuenca del Lago de Yojoa

Según Argeñal (2010) cuando la Niña es débil, en el mes de noviembre se observan valores de lluvia, menores al promedio en la cuenca del Lago de Yojoa, en la Mosquitia y en la región sur, esto podría originarse por una escasa invasión de masas de aire polar.

En octubre, condiciones muy lluviosas prevalecen en casi todo el país excepto en la zona del lago de Yojoa y en el extremo nororiental donde las condiciones son muy cercanas al promedio.

3.10. Datos climatológicos históricos de Honduras y cuenca del Lago de Yojoa

Uno de los desastres climatológicos más fuertes e históricos de Honduras en general según Mark *et al.* (2001) fue el huracán Mitch que destruyó 50 años de desarrollo económico. Además de las pérdidas humanas y económicas, intensos deslizamientos e inundaciones marcaron el paisaje hondureño los procesos hidrológicos y geomorfológicos.

El lago de Yojoa se encuentra actualmente en una condición mucho mejor que después del huracán Mitch. El huracán Mitch, que azotó Honduras en 1998, causó graves daños al lago, incluyendo la pérdida de vegetación, la contaminación y la sedimentación.

En los años posteriores al huracán, se han realizado esfuerzos para restaurar el lago. Estos esfuerzos han incluido la reforestación de las orillas del lago, la construcción de sistemas de tratamiento de aguas residuales y la aplicación de medidas para reducir la sedimentación (Jorquera 2012).

El huracán Mitch inicio como depresión tropical en el Mar Caribe el 22 de octubre de 1998. Para el 26 de octubre, Mitch se había fortalecido y llegado a categoría de tormenta 5, como lo define la Escala de Huracanes Saffir-Simpson (Centro Nacional de Datos climatológicos, 1999a) y para el 27 de octubre ya amenazaba la costa norte de Honduras. Después de haber tocado tierra dos días más tarde (29 de octubre), la tormenta se desvió hacia el sur y hacia el oeste a lo largo de todo Honduras, trayendo destrucción en todo el país antes de llegar a la frontera de Guatemala el 31 de octubre (Mark *et al.* 2001).

El 3 de noviembre 2020, el huracán Eta tocó tierra en la costa caribeña de Nicaragua (26 km al sur de Bilwi) como una tormenta de categoría 4 con vientos máximos sostenidos cerca de 220 km/h y continuó avanzando hacia el oeste cerca de 6 mph (9 km/h). El 4 de noviembre de 2020, el sistema se debilitó rápidamente hasta convertirse en una tormenta tropical, sin embargo, causó importantes daños en Honduras, Guatemala, Costa Rica, Belice, El Salvador, Panamá, Colombia y Jamaica. Dos semanas después, el 16 de noviembre, el huracán Iota, una tormenta de categoría 5, tocó tierra en el archipiélago colombiano de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. Se movió a lo largo de la costa noreste de Nicaragua cerca de la ciudad de Haulover con vientos sostenidos cercanos a las 155 mph (250 km/h). El 17 de noviembre, Iota se debilitó hasta convertirse en tormenta tropical, y se trasladó al sur de Honduras y Guatemala (OPS 2020).

3.11. Efectos del cambio climático en la cuenca del Lago de Yojoa

3.11.1. Clima del Lago de Yojoa

La mayoría de las estaciones meteorológicas en la cuenca de Yojoa se encuentran en altitudes más bajas cerca del lago. Debido a esta distribución, las líneas que conectan puntos de igual cantidad de lluvia anual no consideran la precipitación proveniente de las montañas de Santa Bárbara y Azul Meambar. Sin embargo, proporciona una visión general de las variaciones de precipitación en los alrededores del lago (House 2002).

Los datos sobre las temperaturas promedios para el Lago de Yojoa son limitados, siendo solamente dos estaciones meteorológicas que tienen datos continuos: El Jaral y Santa Elena. La temperatura promedio para la estación de El Jaral en el norte del Lago es 23.7 °C, haciéndolo un clima tropical a transición Subtropical. La estación de Santa Elena por el este del Lago tiene un promedio de 21.7 °C mostrando más un clima subtropical (House 2002).

3.11.2. Aumento de las temperaturas

El cambio climático puede llevar a un aumento de las temperaturas en la región, lo que podría tener impactos en el ecosistema acuático del lago y en las especies que dependen de él (House 2002).

3.11.3. Cambios en los patrones de lluvia

Según SERNA (2010) el cambio climático puede alterar los patrones de lluvia en la cuenca del lago, lo que podría afectar el nivel del agua y la disponibilidad de recursos hídricos.

3.11.4. Mayor frecuencia e intensidad de eventos climáticos extremos

Para BCIE (2023) el cambio climático puede aumentar la frecuencia e intensidad de eventos climáticos extremos, como sequías o inundaciones, lo que podría tener impactos en el lago y en las comunidades que dependen de él.

3.12. Relación entre el clima y los recursos hídricos en la cuenca.

La relación entre el clima y los recursos hídricos en la cuenca del Lago de Yojoa es de gran importancia para la gestión integral de estos recursos. La cuenca del Lago de Yojoa es considerada la unidad básica para la gestión integral de los recursos hídricos en Honduras (Guillén 2015). Además Jouravlev (2003) dice que la gestión de los recursos hídricos en esta cuenca se enfoca en controlar la descarga de agua en cantidad, calidad, lugar y tiempo de ocurrencia.

El cambio climático también tiene efectos en los recursos hídricos de la cuenca del Lago de Yojoa. Los cambios en los patrones de precipitación y las temperaturas pueden influir en la disponibilidad de agua en la cuenca, lo cual puede tener consecuencias para el suministro de agua potable, la agricultura y la vida silvestre (CEPAL 2017)

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1.Descripción del área de estudio

El Lago de Yojoa es la mayor reserva de agua dulce en Honduras y tiene una superficie de aproximadamente 79 km². El Lago de Yojoa es un lago ubicado en Honduras. Es considerado el lago más grande del país. Este lago es un ecosistema único en Honduras, ya que es una reserva de agua dulce que conserva una gran diversidad biológica (Acosta-Rivera 2018).

A su vez, está integrada por un área central catalogada como 'Zona Recreativa Natural', y se halla flanqueada por una zona circundante establecida bajo la categoría de 'Área de Usos Múltiples'. Estas categorías permiten una planificación que integra la conservación con el uso sostenible de los recursos naturales, respetando los distintos niveles de intervención humana (Andino Mejía 2005).

La designación del Lago de Yojoa como Zona de Usos Múltiples conlleva una intensa presión ambiental, ya que diversos actores se benefician de su explotación de manera directa e indirecta. Actividades como la minería de metales pesados ha contaminado el lago y estos metales son el plomo, cobre, zinc y cadmio Acosta-Rivera (2018), la agricultura, la acuicultura, la ganadería, la hostelería y la generación de energía eléctrica impactan significativamente en la salud del lago y en la calidad de sus aguas (Otero 2011).

La cuenca del lago está rodeada de montañas, algunas de las cuales han sido designadas como parques nacionales, como el Parque Nacional Cerro Azul Meambar en la costa sur y el Parque Nacional Montaña de Santa Bárbara al norte. Estos parques albergan una biodiversidad significativa y son cruciales a nivel nacional debido a la riqueza de especies y ecosistemas presentes en ellos (Otero 2011).

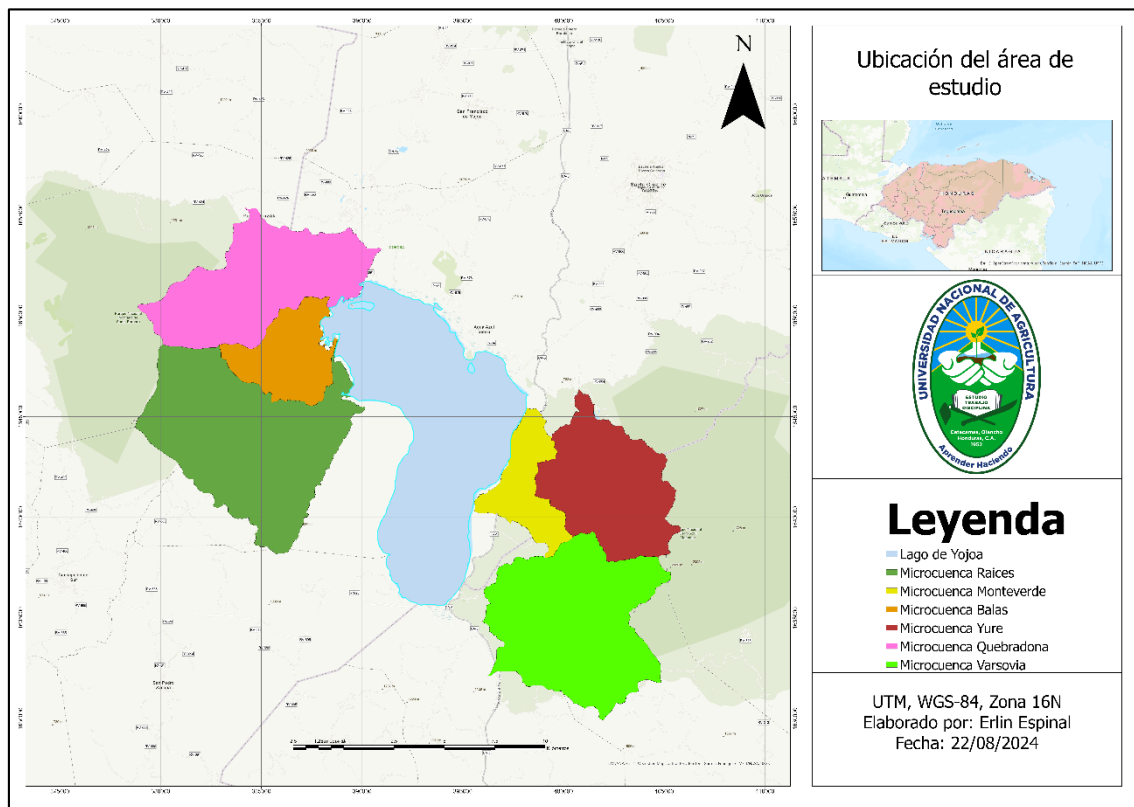


Figura 1 Mapa de Ubicación Lago de Yojoa, Honduras

La macro región que comprende la cuenca del lago de Yojoa abarca un área total de 2000km², dentro de la cual se encuentra el lago de Yojoa, que ocupa 79 km². Además, dentro de esta región se encuentran importantes áreas de conservación, como el Parque Nacional Santa Bárbara, que cubre 132 km², y el Parque Nacional Azul Meambar, con una extensión de 209 km². Estas áreas protegidas, junto con el área de Uso Múltiple que abarca 358 km², contribuyen significativamente a la preservación del entorno natural y la biodiversidad en la región. En conjunto, las tres áreas protegidas suman 635 km², lo que representa una parte considerable del territorio de la macro región, contribuyendo a su valor ecológico y su importancia como fuente de recursos naturales. (Vaux *et al*, 1993).

4.2. Materiales y Equipo

A continuación, se presenta una tabla que contiene una serie de materiales y equipos que utilizaré al momento de realizar mi investigación:

Materiales y equipo	
Materiales	Equipo
• Lápiz	• GPS
• Libreta de campo	• Computadora
	• Software (ARCGIS pro)
	• Estación Meterologica
	• Sensor para la medición de Caudal
	• Cuerda

4.3. Método

4.3.1. Perfil climatológico

También se utilizó la web de NASA POWER | DAVE de la NASA, donde se obtuvieron los datos restantes de alrededor de 27 años.

A partir de ahí se elaborará el perfil climatológico imperante del Lago de Yojoa. Para esto se llevó a cabo una serie de pasos:

4.3.1.1. Recopilación de datos climáticos: Se utilizó la web de NASA POWER | DAVE, para descargar datos diarios de precipitación y temperatura diaria desde 01 Enero de 1984 hasta el 10 de mayo de 2024

4.3.1.2. Análisis de datos: Una vez recopilados los datos climáticos, se procedió a analizarlos para identificar patrones y tendencias climáticas. Esto implicó el uso del programa R y Rstudio. Además, se utilizaron herramientas de visualización, como gráficos.

4.3.1.3. Identificación de variabilidad climática: Se identificó la variabilidad climática en la región, los eventos extremos y los cambios en una frecuencia

de 30 años en el clima. Esto requirió el análisis de datos y la comparación con estudios realizados anteriormente.

4.3.1.4.Elaboración del perfil climatológico: Con los datos y análisis realizados, se elaboró el perfil climatológico. Este perfil incluyó una descripción detallada del clima de la región, incluyendo los patrones climáticos, las variaciones estacionales y los eventos extremos.

Las variables que se utilizó en esta etapa metodológica serán:

Temperatura, precipitación.

4.3.2. Elaboración de modelos hidrológicos conceptuales

Para llevar a cabo la realización de los modelos hidrológicos conceptuales, se usó la metodología llamada LuMOD, que trata sobre:

Para elaborar el modelo hidrológico conceptual, se tomaron en cuenta distintos parámetros que sirvieron como entradas al modelo hidrológico conceptual.

Las entradas que se tomaron son las siguientes:

Precipitación:

- Datos obtenidos en la web NASA POWER | DAVe.

Temperatura:

- Datos de temperatura para estimar la evaporación y otros procesos relacionados con la temperatura.

Características de la cuenca:

- Área de la cuenca.
- Uso del suelo y cobertura vegetal.

4.3.3. Determinación de uso de suelo

Se utilizó una serie de mapas para obtener información sobre los usos del suelo en las microcuencas del lago de Yojoa. Los mapas se describen a continuación:

- a. **Mapas de Uso del Suelo Actuales:** Para elaborar este tipo de mapa, se utilizaron imágenes satelitales del satélite Sentinel-2. Posteriormente, se procedió a la utilización de software de SIG (ArcGIS Pro), siguiendo los siguientes pasos:

El proceso de elaboración de un mapa de uso del suelo actual siguió una serie de pasos fundamentales. Se inició con la adquisición de datos relevantes, que provinieron de registros gubernamentales, estudios previos u otras fuentes confiables. Luego, se recurrió a imágenes satelitales Sentinel 2.

- b. **Mapas de Zonificación Urbana:** Primero, se obtuvieron los datos de zonificación urbana de la autoridad local o entidad encargada del planeamiento urbano. Luego, se siguieron los pasos establecidos para la clasificación de cualquier otro mapa, asegurando una representación precisa y detallada de las diferentes zonas urbanas.
- c. **Mapas de NDVI:** Para hacer lo que son los mapas de índice de vegetación primero se descargaron imágenes satelitales de la plataforma copernicus, las imágenes que se descargaron fueron Sentinel 2, en Banda 04 y Banda 08. Luego se utilizó la siguiente formula.

4.3.3.1. Clasificación de NDVI basada en (ROUSE *et al.* 1976)

1. Clase 1: No vegetada ($NDVI < 0.2$)

- **Descripción:** Valores de NDVI inferiores a 0.2 generalmente indican áreas no vegetadas. Esto incluye cuerpos de agua, nieve, nubes, suelos desnudos, y áreas urbanas.
- **Ejemplos:** Superficies de agua, suelo expuesto, áreas construidas.

2. Clase 2: Vegetación escasa a moderada (NDVI 0.2 a 0.5)

- **Descripción:** Este rango representa áreas con vegetación escasa o moderada, como praderas, cultivos en las primeras etapas de crecimiento, o matorrales.
- **Ejemplos:** Pastizales, cultivos en crecimiento temprano, vegetación dispersa.

3. Clase 3: Vegetación densa (NDVI > 0.5)

- **Descripción:** Valores superiores a 0.5 indican áreas con vegetación densa y saludable, como bosques, selvas, y cultivos en pleno desarrollo.
- **Ejemplos:** Bosques maduros, selvas tropicales, cultivos en su fase de máxima productividad.

4.3.3.2.Fórmula para NDVI

$$NDVI = \frac{(NIR - Rojo)}{(NIR + Rojo)} \text{ (Huete et al. 1995)}$$

• **Banda 04:** Esta banda se encuentra en el espectro del rojo (RED). Específicamente, en los sensores Sentinel-2, la Banda 04 abarca longitudes de onda en el rango de 650-680 nanómetros (nm). Esta banda es crucial para detectar la absorción de luz por la clorofila de las plantas durante la fotosíntesis.

• **Banda 08:** Esta banda corresponde al infrarrojo cercano (NIR). En los sensores Sentinel-2, la Banda 08 abarca longitudes de onda en el rango de 785-900 nanómetros (nm). Las plantas saludables reflejan fuertemente la luz en este rango, lo que hace que esta banda sea esencial para la detección de la biomasa vegetal y la actividad fotosintética (Drusch et al. 2012).

4.3.4. Validación de sistemas de georreferenciación

También la validación de los sistemas de georreferenciación fue parte de la metodología de este documento, y los pasos a seguir para esta validación son los siguientes:

- a. **Comparar con fuentes de datos externos:** Se utilizaron fuentes de datos externos confiables, como imágenes satelitales, para comparar y validar la precisión de los datos de georreferenciación.

4.3.4.1. Validación del mapa de uso de suelos actuales

Para validar estos datos, se realizó un recorte espacial del Mapa de Cobertura Forestal de Honduras del año 2018, proporcionado por el Instituto de Conservación Forestal (ICF). Luego, se comparó con los resultados obtenidos al crear un mapa de uso de suelos actuales en ArcGIS Pro.

Para realizar lo que es la validación en campo de esta clasificación se realizó lo siguiente:

1. **Visitas al terreno:** Se visitaron cada uno de los sitios seleccionados para realizar observaciones detalladas y recopilar datos sobre el uso del suelo en esa ubicación. Durante estas visitas, se tomaron fotografías, se hicieron anotaciones sobre las características del paisaje y se recopilaron muestras de suelo si fue necesario.
2. **Comparación con la clasificación:** Se compararon las observaciones en campo con las categorías de uso del suelo asignadas en la clasificación, para evaluar la precisión de la clasificación realizada.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Perfil Climatológico

5.1.1. Precipitación Satelital del Lago de Yojoa 1994-2024

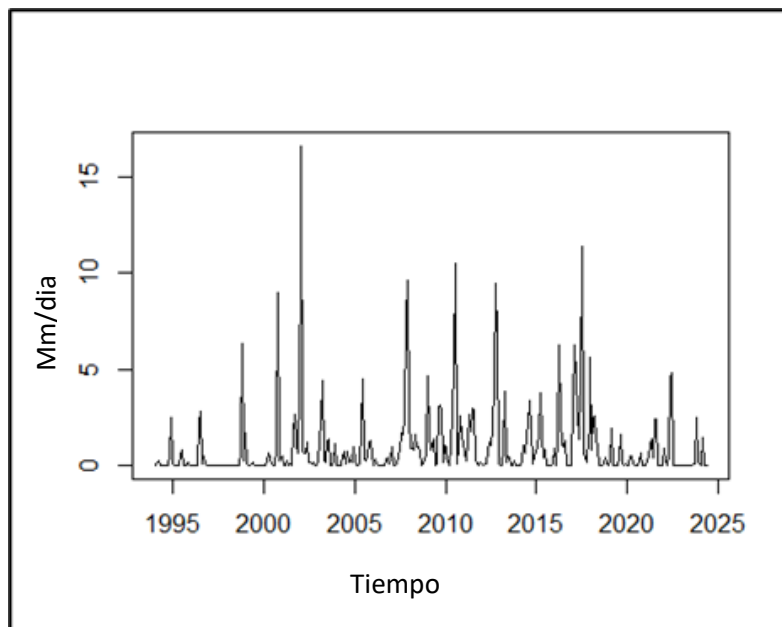


Figura 2 Gráfico de series temporales de precipitación satelital anual 1994-2024 Lago de Yojoa, Honduras

En la (Figura 2), se observa una serie temporal que abarca desde el 01 de Enero de 1994 hasta 10 de mayo de 2024, donde el eje vertical representa la cantidad de precipitaciones, mientras que el eje horizontal indica el tiempo en años. La serie muestra una variación significativa en los datos de precipitación a lo largo del tiempo, con picos notables alrededor de los años 2000, 2005, 2010 y 2015.

El análisis de esta serie temporal revela que el comportamiento de las precipitaciones en la región del Lago de Yojoa ha sido bastante variable, con algunos años experimentando episodios de lluvia intensa, seguidos de periodos de menor precipitación. Los picos más altos sugieren eventos de lluvias extremas que podrían estar asociados con fenómenos

climáticos como huracanes o tormentas tropicales, que suelen impactar la región con cierta frecuencia.

Entre los años 2000 y 2005, la precipitación en la región del Lago de Yojoa experimentó una variabilidad significativa. Durante este periodo, se registraron varios eventos de lluvias intensas, especialmente influenciados por fenómenos climáticos como ENOS fase seca y ENOS fase húmeda, que alteraron los patrones normales de precipitación. Según la Universidad Nacional Autónoma de Honduras (2023) entre los años 2000 y 2005, el Lago de Yojoa experimentó variaciones en sus niveles de precipitación, siendo conocido como el lugar con mayor precipitación mayor precipitación en Honduras.

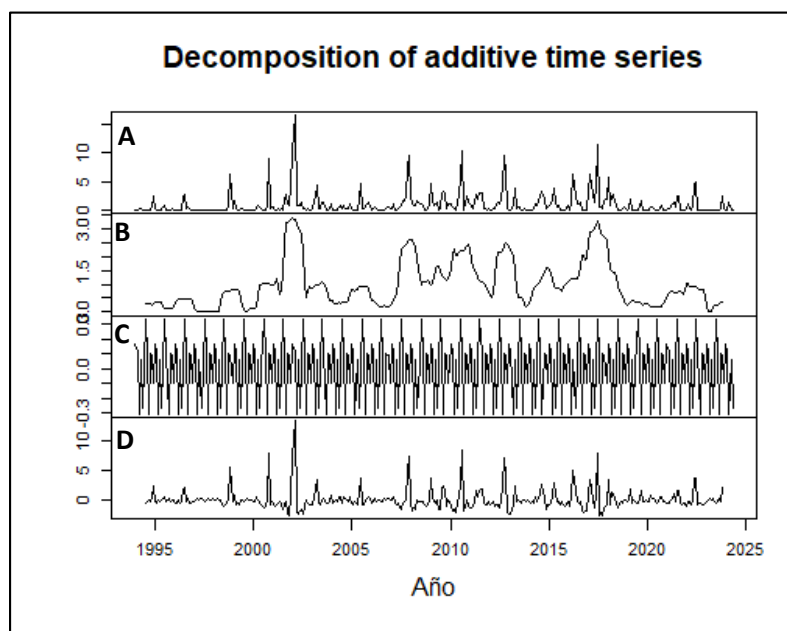


Figura 3 Descomposición Aditiva de la Serie Temporal de Precipitación en la del Lago de Yojoa 1994-2024

La (Figura 3) que se presenta muestra una descomposición de la serie temporal aditiva de la precipitación en el Lago de Yojoa, desglosando la serie en sus componentes principales:

- **Serie Observada**

En (Figura 3A) superior, se encuentra la serie temporal completa de la precipitación observada, que refleja la suma de las tendencias. Aquí se puede observar la variabilidad

anual y la aparición de picos que indican eventos de lluvia extrema, similares a los observados en la gráfica anterior.

- **Tendencia**

En la (Figura 3B) muestra la tendencia a lo largo del tiempo, suavizando las variaciones anuales para destacar los cambios más generales en la precipitación. Se puede observar una tendencia creciente hasta alrededor del año 2005, seguida de una disminución hasta 2010 y un nuevo incremento hacia 2015. Esta tendencia sugiere periodos de aumento y disminución en la cantidad de precipitación, posiblemente vinculados a cambios climáticos o ciclos más largos como ENOS fase seca y ENOS fase húmeda.

Por otro lado, los eventos de y ENOS fase húmeda, como los registrados entre 1998-2000, 2007-2008, 2010-2012 y 2020-2022, muestran una tendencia contraria. Estos periodos se caracterizan por un aumento en la precipitación, lo cual es coherente con la fase de enfriamiento del ENSO, que generalmente lleva a un incremento en las lluvias en la región, debido al fortalecimiento de los vientos alisios y una mayor convergencia de humedad (Giannini *et al.* 2004).

En la gráfica, los años en los que ENOS fase seca fue particularmente fuerte, como 1997-1998, 2009-2010, y 2015-2016, podrían coincidir con disminuciones en la precipitación observada en la componente de tendencia o aumentos en la variabilidad de la componente aleatoria. Es posible que estos eventos estén reflejados como picos negativos en la tendencia o variaciones más extremas en la componente aleatoria de la descomposición de la serie temporal. Trenberth y Fasullo (2013) proporciona un contexto sobre cómo El ENOS fase seca puede afectar los patrones de precipitación en la región,

- **Estacionalidad**

En la (Figura 3C) representa la componente estacional, que muestra patrones recurrentes dentro de un ciclo anual. En este caso, se observa una clara repetición de variaciones en los datos de precipitación, con picos regulares que indican periodos del año en los que la lluvia es más intensa. Esto es consistente con el clima tropical de la región, donde las

lluvias suelen concentrarse en determinadas estaciones. Como lo menciona (House 2002), el clima del lago de Yojoa, Honduras es subtropical.

- **Residual**

Finalmente, la última sección de la (Figura 3D) muestra el componente aleatorio o residual, que representa la variabilidad no explicada por la tendencia ni la estacionalidad. Este componente abarca los eventos impredecibles y las anomalías en los datos, como las lluvias extraordinarias o periodos secos inusuales. Thompson y Wallace (2001) discuten los impactos regionales de la variabilidad climática, particularmente en relación con la variabilidad residual y las anomalías en los patrones meteorológicos.

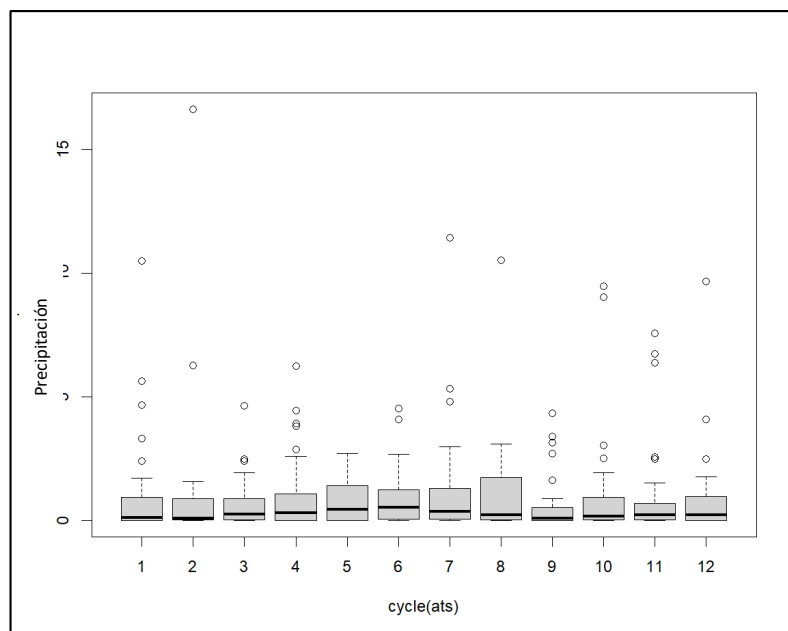


Figura 4 Diagrama de Caja y Bigotes de precipitación del Lago de Yojoa.

En la (Figura 4) se presenta es un diagrama de caja y bigotes que ilustra la distribución de los valores de precipitación a lo largo de los 12 meses que representan ciclos temporales relevantes para el análisis de la precipitación en la región del Lago de Yojoa.

- **Distribución General**

Cada uno de los 12 ciclos muestra una caja que representa el rango de los datos con la línea negra dentro de la caja marcando la mediana de los valores de precipitación. Las líneas (bigotes) que se extienden desde las cajas representan el rango dentro de 1.5 veces el rango intercuartílico. Los puntos que se encuentran fuera de estos bigotes son considerados valores atípicos.

- **Variabilidad entre Ciclos**

La altura de las cajas y la longitud de los bigotes varían entre los ciclos, lo que indica que la variabilidad en la precipitación no es uniforme a lo largo del tiempo. Algunos ciclos, como el 2, 3, y 7, muestran una mayor dispersión en los valores de precipitación, lo que sugiere una mayor variabilidad en esos periodos. Zolina *et al.* (2009) describe el uso de diagramas de cajas y bigotes para analizar la variabilidad de la precipitación y la dispersión de valores.

- **Presencia de Valores atípicos**

En cada uno de los ciclos, se observan puntos fuera de los bigotes, lo que indica la presencia de eventos de precipitación extrema. Estas lluvias intensas, características de los periodos de ENOS fase húmeda, no solo aumentan el riesgo de inundaciones en la cuenca del lago, sino que también afectan la infraestructura local y los ecosistemas acuático

- **Interpretación de los Ciclos**

Si estos ciclos representan meses del año, por ejemplo, se podría inferir patrones estacionales en la precipitación. Los ciclos con mayor dispersión y outliers podrían corresponder a la temporada de lluvias, mientras que los ciclos con menor variabilidad podrían coincidir con la estación seca.

Reyes-avila *et al.* (2024) menciona que, la precipitación en Honduras muestra un patrón estacional claro, con variaciones influenciadas por fenómenos como El Niño y La Niña, los cuales afectan significativamente la cantidad de precipitación en la región del Lago de Yojoa.

5.1.2. Temperatura Lago de Yojoa 1994-2024

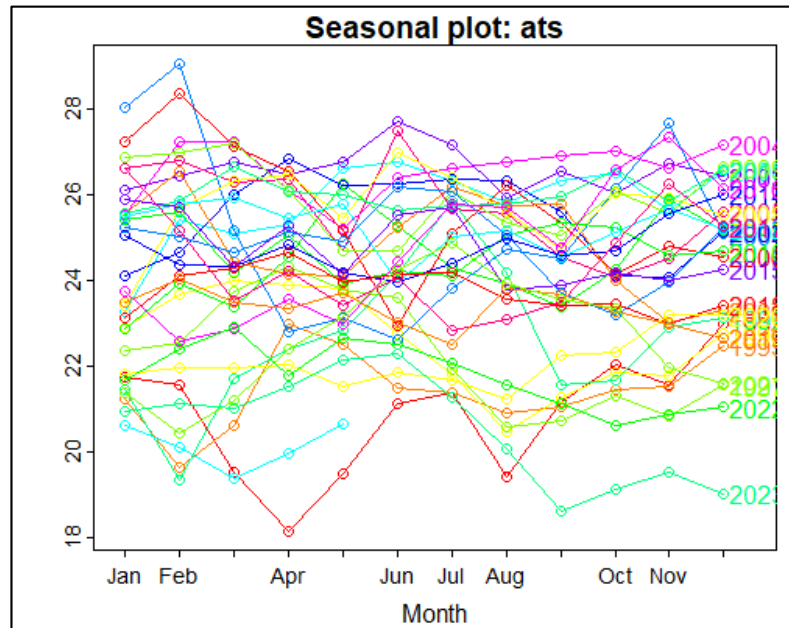


Figura 5 Variación Estacional de la Temperatura en el Lago de Yojoa 1994-2024

La (Figura 5) presenta es un gráfico estacional que muestra la variación mensual de la temperatura en el Lago de Yojoa a lo largo de varios años, representados por diferentes colores. En la gráfica se observan líneas correspondientes a diferentes años, que trazan la temperatura promedio mensual desde enero hasta diciembre. Esto permite comparar cómo varía la temperatura a lo largo de los meses en cada año y detectar patrones estacionales o anomalías.

Los meses de enero a marzo y octubre a diciembre parecen registrar temperaturas más bajas, mientras que los meses de abril a septiembre muestran una tendencia a temperaturas más altas. Este comportamiento es típico en regiones tropicales como el Lago de Yojoa, donde hay variaciones de temperatura relacionadas con las estaciones húmeda y seca (Karmalkar *et al.* 2011).

Se aprecia una variabilidad significativa entre los diferentes años, especialmente en ciertos meses. Algunos años presentan temperaturas más extremas, como los picos observados en enero y febrero de ciertos años, lo que podría estar relacionado con fenómenos climáticos anómalos o eventos específicos que afectaron la región.

- **Años con Comportamientos Anómalos**

Los años más recientes, como 2021 y 2022, parecen mostrar comportamientos un poco diferentes comparados con los años anteriores, especialmente con una mayor dispersión de las temperaturas. Esto podría indicar cambios climáticos recientes o la influencia de fenómenos como ENOS fase seca y ENOS fase húmeda. Cai *et al.* (2018) proporciona un análisis detallado de cómo fenómenos como el ENSO pueden influir en la variabilidad de las temperaturas.

- **Interpretación de Meses Clave**

Algunos meses como abril y agosto muestran mayor variabilidad entre los años, lo que sugiere que la temperatura en estos meses puede estar sujeta a variaciones más pronunciadas debido a factores climáticos. Estos meses pueden ser críticos para monitorear, ya que las variaciones pueden afectar tanto a los ecosistemas acuáticos como a las actividades humanas en la región

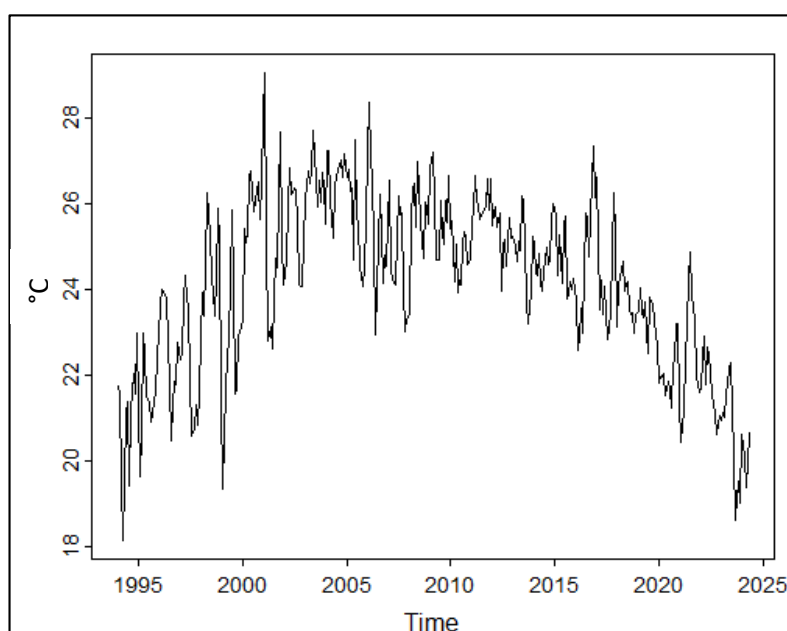


Figura 6 Tendencia Temporal de la Temperatura en el Lago de Yojoa 1994-2024

La (Figura 6) que se presenta muestra una serie temporal de temperatura en la región del Lago de Yojoa, abarcando un periodo desde aproximadamente 1994 hasta 2024. El eje vertical representa la temperatura, mientras que el eje horizontal muestra el tiempo en años.

Observando la serie temporal, se aprecia una clara tendencia en la temperatura a lo largo del tiempo. Durante el periodo de 1995 a 2005, se observa un aumento en la media de los valores de temperatura, con picos pronunciados. Este periodo podría estar relacionado con cambios climáticos significativos, que causaron un incremento en la temperatura media anual. Posteriormente, la serie muestra un descenso gradual, especialmente notable a partir de 2015. Sin embargo, en ciertas áreas específicas, como el Lago de Yojoa, pueden ocurrir variaciones que desvíen esta tendencia general como lo menciona (Hansen *et al.* 2006).

- **Ciclos de Temperatura**

La gráfica indica la presencia de ciclos en los cuales la temperatura sube y baja en intervalos relativamente largos, lo que podría estar relacionado con variaciones climáticas a largo plazo, como aquellos asociados con fenómenos de ENOS fase seca y ENOS fase húmeda.

A partir de 2015, la serie muestra una tendencia descendente en la temperatura, lo que podría indicar un enfriamiento relativo en los años más recientes. Este descenso podría tener diversas explicaciones.

Según estudios recientes, el cambio climático está alterando los patrones de temperatura en zonas tropicales como el Lago de Yojoa, con un aumento observado en las temperaturas máximas y una variabilidad más pronunciada en las mínimas (Hidalgo *et al.* 2013).

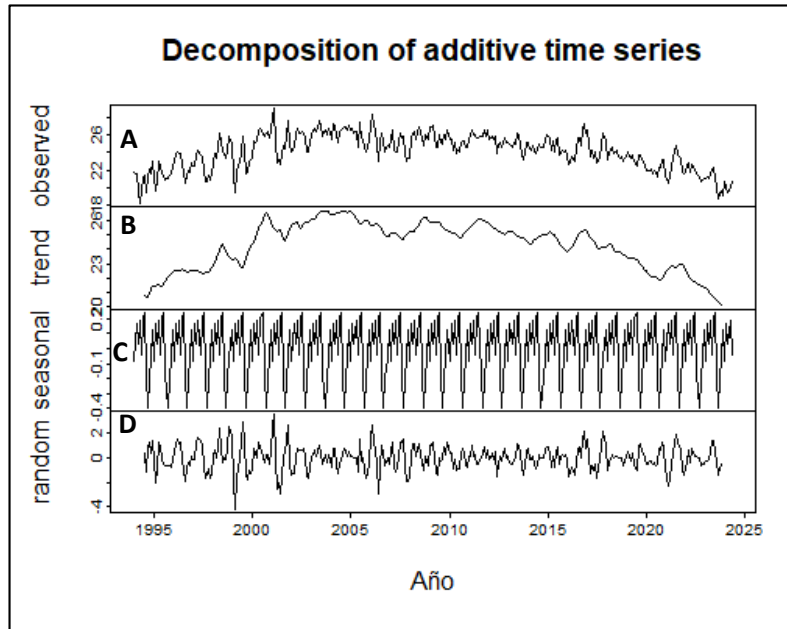


Figura 7 Descomposición Aditiva de la Serie Temporal de Temperatura en el Lago de Yojoa 1995-2024

La (Figura 7) que se presenta muestra la descomposición de una serie temporal aditiva de la temperatura en la región del Lago de Yojoa, desglosada en sus componentes principales: observada, tendencia, estacionalidad y residual (aleatoria). Esta descomposición permite analizar los diferentes elementos que contribuyen al comportamiento de la serie a lo largo del tiempo.

- **Serie Observada**

La (Figura 7A) muestra la serie temporal completa de la temperatura observada. Se puede ver una variabilidad significativa a lo largo del tiempo, con una tendencia general de aumento hasta principios de la década de 2000, seguida de una ligera disminución hacia el final del periodo. El calentamiento global sostenido hasta 2005 y la posterior desaceleración pueden estar vinculados a la interacción entre forzamientos externos y la variabilidad climática interna, como la PDO y la absorción de calor por los océanos" (Meehl *et al.*, 2011; Kosaka y Xie, 2013).

- **Tendencia**

La (Figura 7B) tendencia a largo plazo en la serie de temperatura. Esta tendencia refleja un aumento en las temperaturas desde mediados de la década de 1990 hasta aproximadamente 2005, seguido de un descenso gradual hasta 2024. Este patrón de

aumento y luego descenso coincide con los ciclos de temperatura a largo plazo observados en la región y podría estar influenciado por cambios climáticos globales o regionales.

- **Estacionalidad**

La (Figura 7C) muestra un patrón recurrente anual. En este caso, la estacionalidad es bastante regular. Esto sugiere que las temperaturas en el Lago de Yojoa siguen un ciclo estacional bien definido, posiblemente influenciado por la alternancia entre las estaciones seca y húmeda en la región.

- **Residual**

La (Figura 7D) muestra la variabilidad residual, que captura las variaciones no explicadas por la tendencia ni la estacionalidad. Este componente residual es importante para identificar eventos inusuales o anomalías en los datos de temperatura. Se observa que esta variabilidad es más pronunciada en ciertos periodos, especialmente alrededor del año 2000, lo que podría indicar eventos climáticos extremos o cambios anómalos durante esos años.

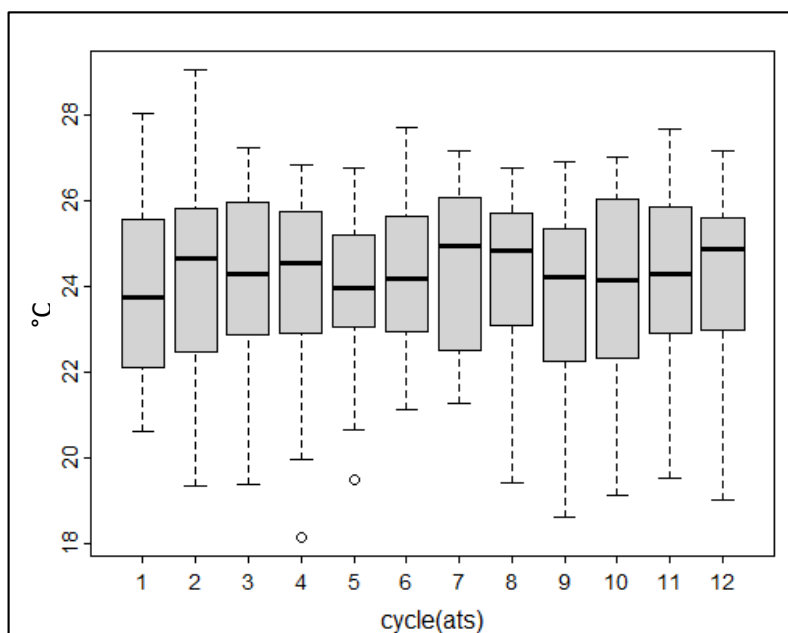


Figura 8 Diagrama de Caja y Bigotes de temperatura del Lago de Yojoa.

Cada una de las cajas representa el rango intercuartílico de los datos para cada ciclo, con la línea negra gruesa en el interior de la caja indicando la mediana de los valores de temperatura. Las líneas (bigotes) que se extienden desde las cajas muestran el rango de

los datos que se encuentran dentro de 1.5 veces el rango intercuartílico, y los puntos fuera de los bigotes son considerados valores atípicos.

- **Comparación entre Ciclos**

En general, las medianas de la temperatura se mantienen relativamente constantes a lo largo de los ciclos, oscilando entre aproximadamente 24°C y 26°C. Esto sugiere que la temperatura en el Lago de Yojoa tiene una variabilidad relativamente baja a lo largo del tiempo en la escala analizada.

- **Dispersión y Variabilidad**

Las cajas en la mayoría de los ciclos tienen una altura similar, lo que indica una variabilidad comparable entre los diferentes periodos. Sin embargo, algunos ciclos muestran una dispersión ligeramente mayor, lo que podría indicar una mayor inestabilidad o variabilidad en la temperatura durante esos periodos específicos.

La mayor dispersión observada en ciertos ciclos podría estar relacionada con episodios climáticos extremos, como los asociados a El Niño, que pueden aumentar la variabilidad de la temperatura (Trenberth *et al.*, 2002; Zhang *et al.*, 2010)

- **Valores Atípicos**

Se observan algunos puntos fuera de los bigotes, especialmente en los ciclos 4 y 5. Estos outliers representan eventos de temperatura inusualmente baja que no son comunes durante esos ciclos. Estos puntos podrían ser de interés particular, ya que podrían estar relacionados con fenómenos climáticos inusuales o cambios locales específicos que afectaron la temperatura en esos momentos. Zolina *et al.* (2009) describe el uso de diagramas de cajas y bigotes para analizar la variabilidad de la precipitación y la dispersión de valores.

Si estos ciclos representan meses del año, podría interpretarse que existe una ligera variación estacional en la temperatura, aunque la diferencia entre ciclos no es dramática. La temperatura parece mantenerse dentro de un rango similar durante todo el año, con pequeñas fluctuaciones.

5.2. Modelos hidrológicos

5.2.1. Precipitación y caudales simulados de las 6 microcuencas del Lago de Yojoa

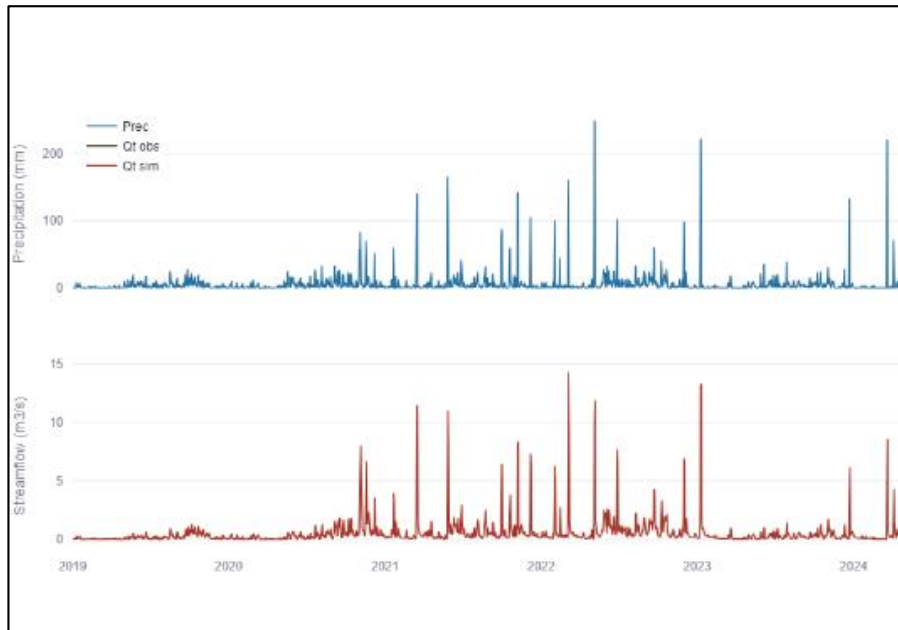


Figura 9 Precipitación y Caudal de la Microcuenca de Balas

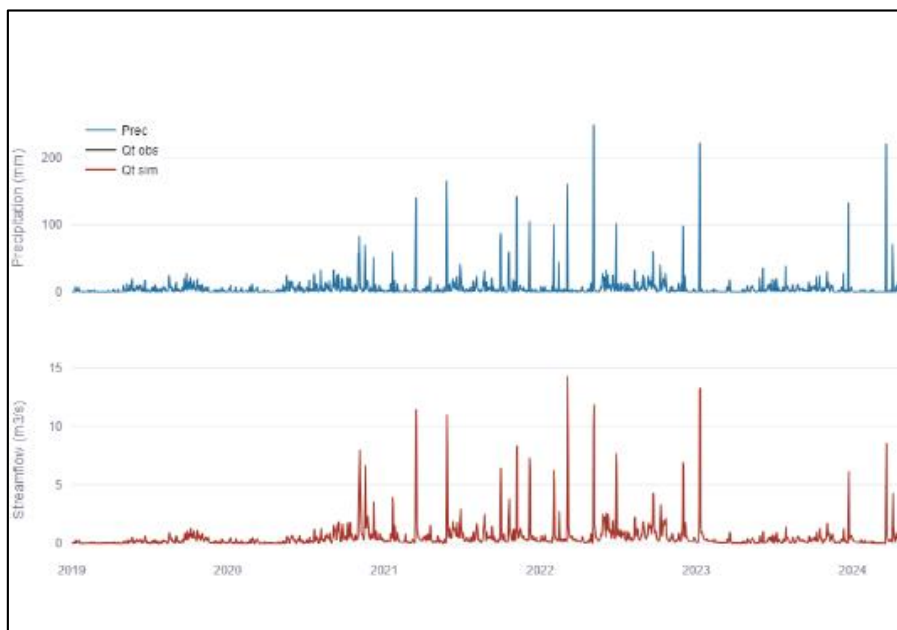


Figura 10 Precipitación y Caudal de la Microcuenca de Monte Verde

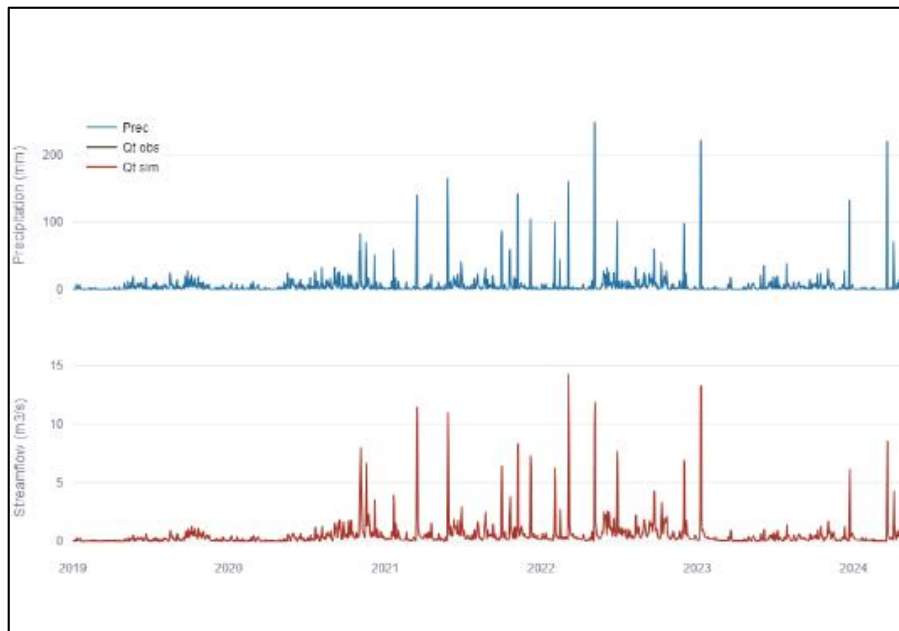


Figura 11 Precipitación y Caudal de la Microcuenca de Quebradona

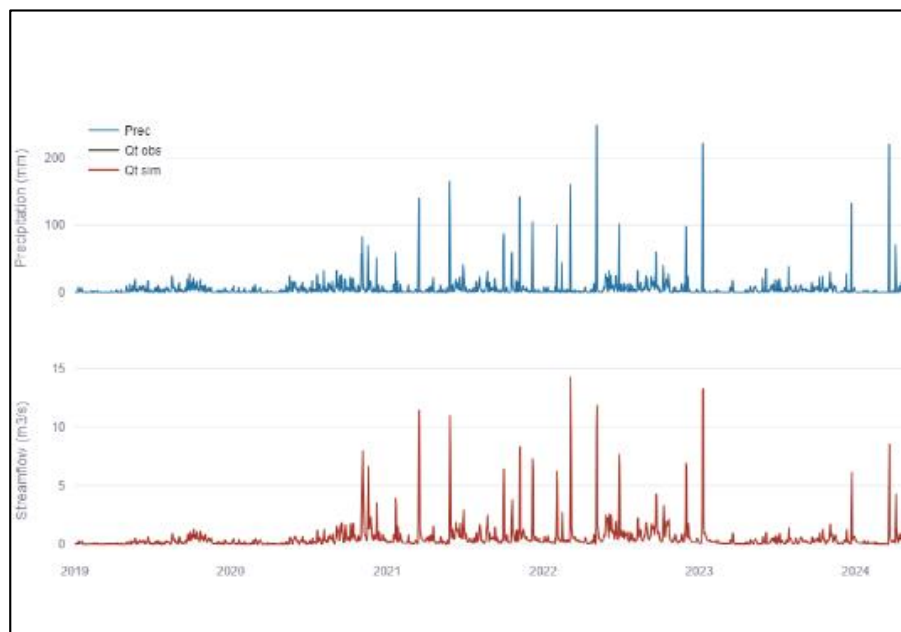


Figura 12 Precipitación y Caudal de la Microcuenca de Raices

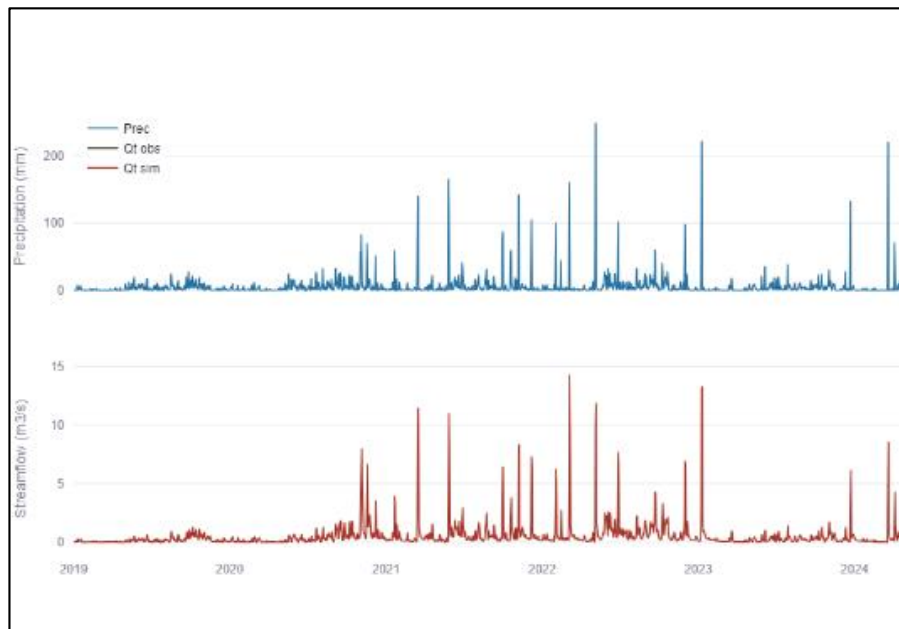


Figura 13 Precipitación y Caudal de la Microcuenca de Varsovia

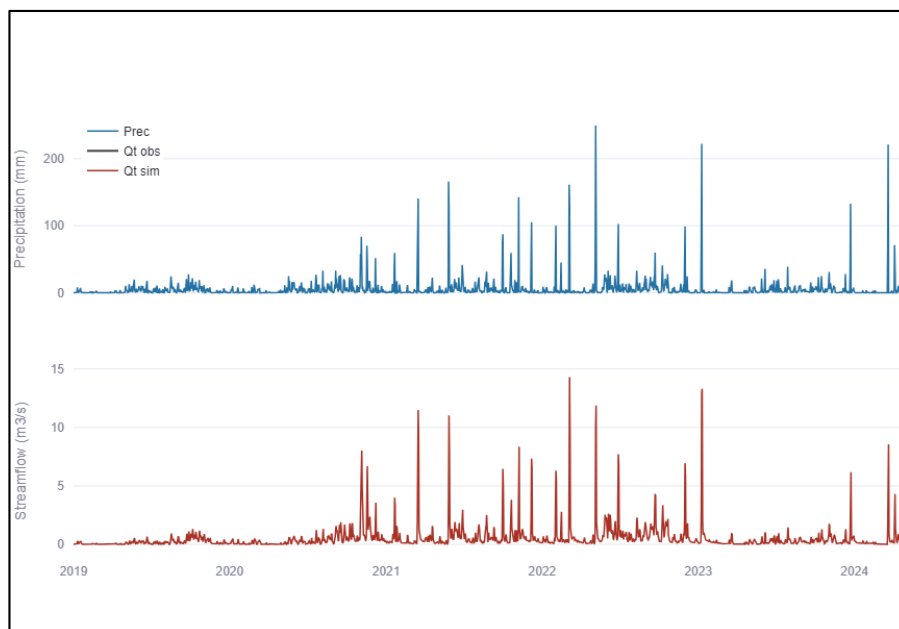


Figura 14 Precipitación y Caudal de la Microcuenca de Yure

Los picos de precipitación en el panel superior coinciden con aumentos en el caudal en el panel inferior. Esta relación es esperada, ya que un incremento en la precipitación generalmente provoca un aumento en el caudal del río. Esta grafica muestra la relación entre la precipitación y el caudal a lo largo del tiempo, la respuesta rápida del caudal a los

picos de precipitación, especialmente en los años 2021 y 2023, refleja un comportamiento hidrológico coherente.

Los picos de precipitación que se observan a finales del 2020 es debido a los Huracanes de ETA e IOTA que ocurrieron a finales de ese año, mientras que los picos altos que se observan en mayor parte del 2021 al 2023 es debido a tormentas constantes que hubo en la zona. Los huracanes Eta e Iota en 2020 provocaron precipitaciones extremas, mientras que las lluvias continuas de 2021 a 2023 se vinculan a tormentas recurrentes y la influencia de La Niña (Smith *et al.*, 2021).

La integración de datos históricos con proyecciones climáticas avanzadas en la modelación hidrológica permite anticipar cambios en el régimen de flujo y preparar estrategias de adaptación más efectivas (Bedri & Piechota, 2022).

5.2.2. Discusión y gráficas simuladas para las 6 microcuencas

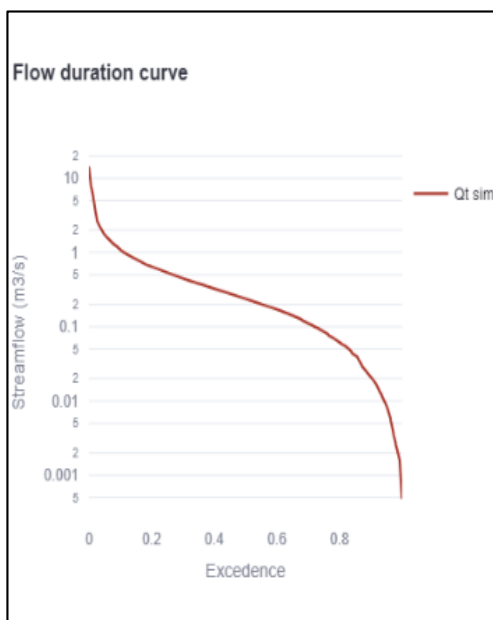


Figura 16 Curva de Duración de Caudales Microcuenca Balas

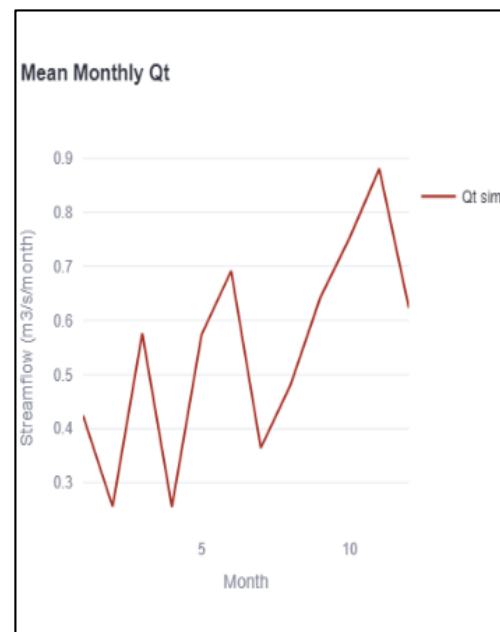


Figura 15 Simulación de Caudales Mensuales Medios Microcuenca Balas

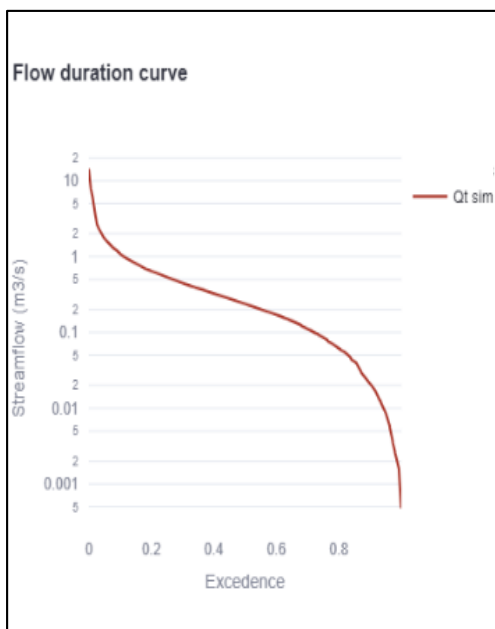


Figura 18 Curva de Duración de Caudales Microcuenca Monte Verde

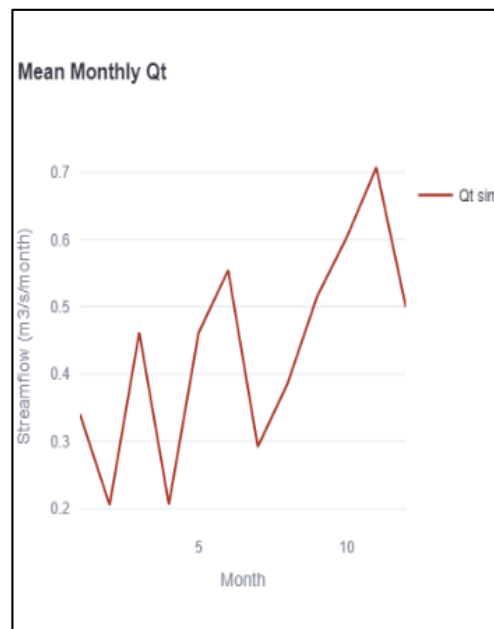


Figura 17 Simulación de Caudales Mensuales Medios Microcuenca Monte Verde

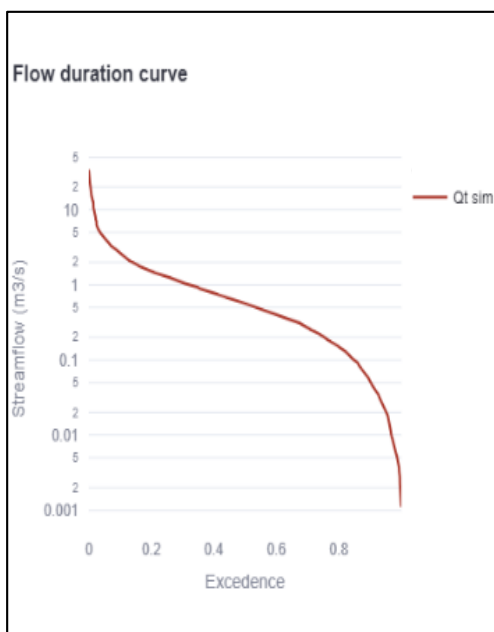


Figura 20 Curva de Duración de Caudales Microcuenca Quebradona

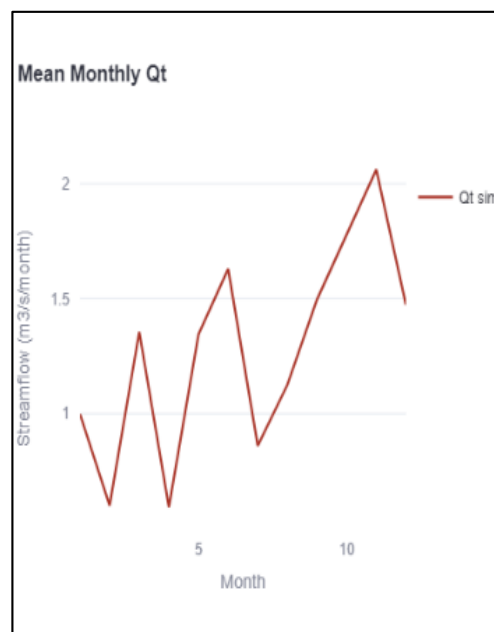


Figura 19 Simulación de Caudales Mensuales Medios Microcuenca Quebradona

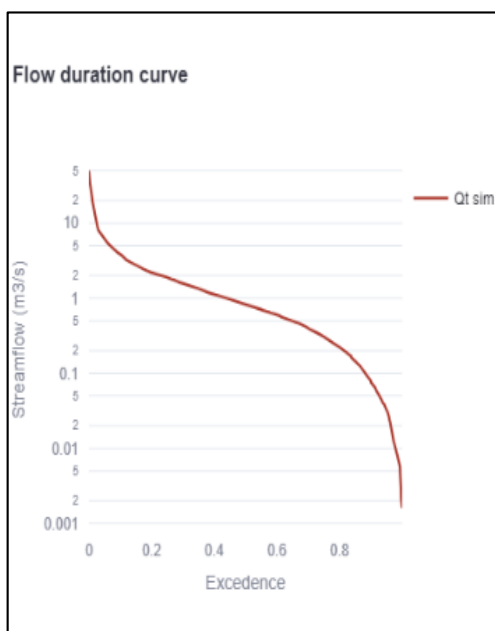


Figura 22 Curva de Duración de Caudales Microcuenca Raíces

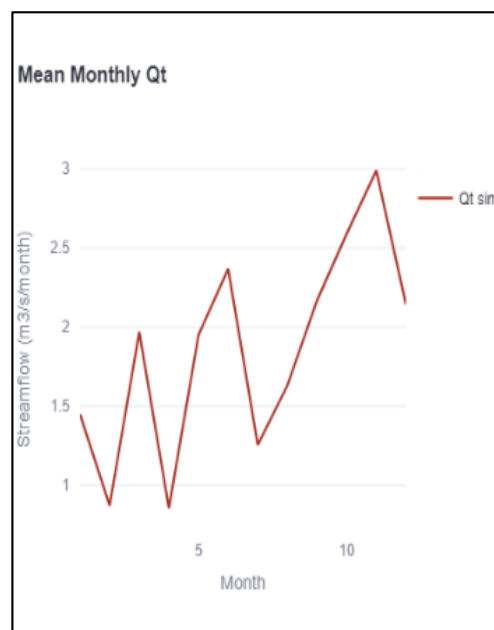


Figura 21 Simulación de Caudales Mensuales Medios Microcuenca Raíces

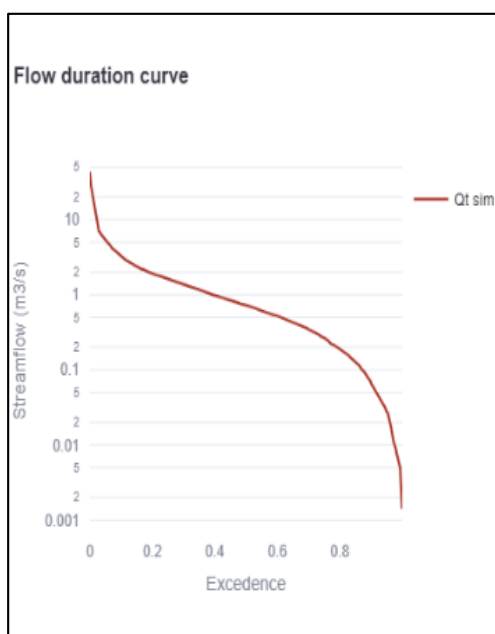


Figura 24 Curva de Duración de Caudales Microcuenca Varsovia

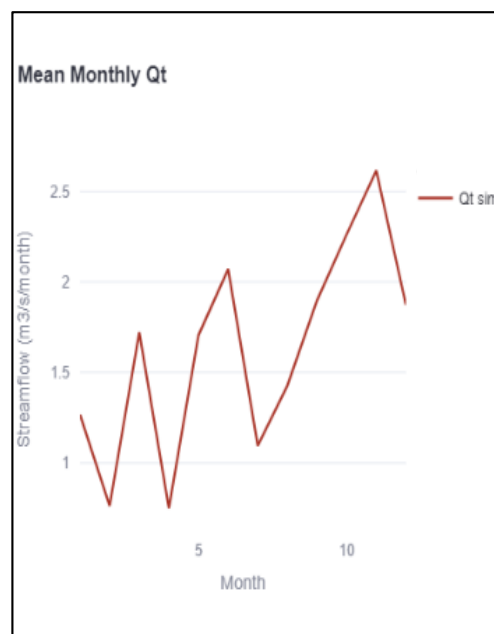


Figura 23 Simulación de Caudales Mensuales Medios Microcuenca Varsovia

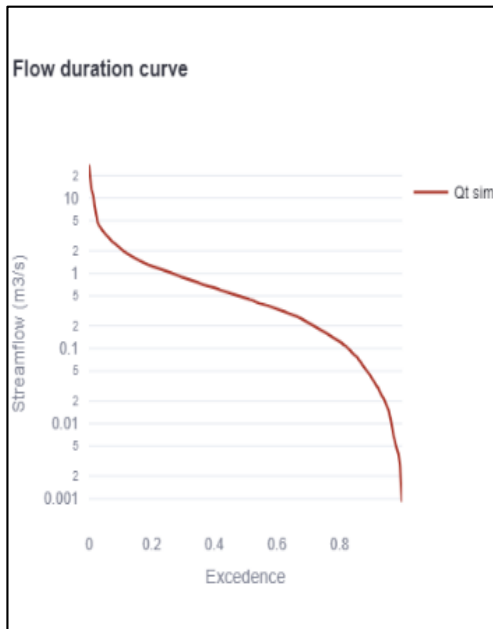


Figura 26 Curva de Duración de Caudales Microcuenca Yure



Figura 25 Simulación de Caudales Mensuales Medios Microcuenca Yure

Singh y Woolhiser (2003) han señalado que las curvas de duración de caudales son herramientas eficaces para evaluar la adecuación de un modelo en la simulación de caudales en diferentes rangos.

La "excedencia" en la curva de duración de caudales se refiere al porcentaje de tiempo durante el cual un caudal específico es igualado o superado en un río o corriente de agua. Este concepto es fundamental para el análisis hidrológico, ya que permite evaluar la disponibilidad de agua y su variabilidad temporal. Un caudal con una excedencia del 30% significa que dicho caudal o uno mayor se observa el 30% del tiempo, lo que indica que el 70% del tiempo el caudal es inferior.

La curva de duración de caudales se utiliza para entender la frecuencia y la variabilidad de los flujos en un sistema fluvial, esencial para la gestión de recursos hídricos (Vogel y Fennessey, 1994).

Se puede apreciar en la (Figura 16) que, aunque el modelo captura la tendencia general de los caudales a lo largo del año, existen diferencias notables en algunos meses específicos, particularmente en aquellos con picos de caudal.

La disminución del caudal de los ríos simulados en el mes de agosto podría estar relacionada con la canícula, un fenómeno climático que se caracteriza por una pausa en las lluvias durante la temporada húmeda, especialmente en regiones tropicales como Centroamérica. Durante este periodo, la reducción temporal en las precipitaciones provoca una disminución en el flujo de los ríos, por lo que la simulación no tiene respuesta lo que se refleja en los modelos hidrológicos que simulan el comportamiento de los caudales. La canícula puede influir en la reducción del caudal de los ríos debido a la disminución de las precipitaciones (Magaña et al., 1999)

En la (Figura 17) se muestra los caudales en una escala logarítmica, lo que permite visualizar tanto caudales muy bajos como muy altos en la misma gráfica. Lo que se puede apreciar en la gráfica o simulación es que el caudal simulado es igual a $11\text{m}^3/\text{s}$. El uso de escalas logarítmicas en hidrología permite visualizar y analizar caudales que varían en varios órdenes de magnitud (Vogel y Fennessey, 1994).

El eje x muestra el porcentaje del tiempo que un caudal es igualado o superado. Lo que indica que en el punto en $x = 0.9$ indica que el caudal en y es igualado o superado el 90% del tiempo. Las curvas de duración de caudales son herramientas esenciales para caracterizar la frecuencia y magnitud de los caudales en una corriente" (Vogel y Fennessey, 1994).

En la (Figura 18) la altura de la línea roja sobre el eje y indica la magnitud del caudal simulado que en este caso el pico o el punto más alto de la gráfica para la microcuenca de Monte Verde es de $0.7\text{m}^3/\text{s}$. Cuando la línea roja alcanza un valor alto en el eje y, el modelo está simulando un caudal alto para ese mes. Lo que se observa en esta grafica es un aumento de la magnitud del caudal a partir del mes 7 (Julio) hasta llegar al mes 11 (Noviembre). Las simulaciones hidrológicas permiten observar patrones estacionales en el caudal, fundamentales para la gestión de recursos hídricos (Beven, 2012).

La precisión en la simulación de caudales depende en gran medida de la calibración adecuada de los modelos hidrológicos, como lo discuten Gupta et al. (1998), quienes señalan que una calibración basada en múltiples parámetros es esencial para capturar la complejidad de los procesos hidrológicos en diferentes condiciones climáticas y geográficas.

En el eje y de la (Figura 19) lo que se puede apreciar en la gráfica o simulación es que el caudal simulado es igual a $13\text{m}^3/\text{s}$. El uso de escalas logarítmicas en hidrología facilita la visualización y análisis de caudales que varían en varios órdenes de magnitud, permitiendo una comprensión más completa de los regímenes de flujo (Silveira *et al.*, 2022).

El excedente para todas las simulaciones de la gráfica de Duración de Caudales es el mismo ya que se usaron los mismos datos de temperatura y precipitación lo único que varía en las simulaciones son las características de las microcuencas como ser el área.

La altura de la línea roja sobre el eje y de la (Figura 20) indica la magnitud del caudal simulado que en este caso el pico o el punto más alto de la gráfica para la microcuenca Quebradona es de $2\text{m}^3/\text{s}$.

En la (Figura 21) muestra los caudales en una escala logarítmica, lo que permite visualizar tanto caudales muy bajos como muy altos en la misma gráfica. Lo que se puede apreciar en la gráfica o simulación es que el caudal simulado es igual a $15\text{m}^3/\text{s}$.

El uso de modelos hidrológicos es esencial para entender la dinámica del flujo en cuencas hidrográficas, especialmente en regiones que enfrentan variaciones climáticas significativas, lo que permite una mejor planificación y gestión de los recursos hídricos (Silveira et al., 2022).

La altura de la línea roja en el eje y en la (Figura 22) refleja la magnitud del caudal simulado, alcanzando un pico máximo de $3\text{m}^3/\text{s}$ para la microcuenca Raíces. Cuando esta

línea sube en el eje 'y', indica que el modelo está estimando un caudal elevado para ese período. En la gráfica se observa un incremento del caudal a partir del mes 7 (julio), que continúa ascendiendo hasta alcanzar su valor máximo en el mes 11 (noviembre).

En la (Figura 23) se facilita la visualización tanto de caudales muy bajos como de caudales muy altos en una sola gráfica. En la simulación se observa que el caudal simulado alcanza un valor de 15 m³/s.

La altura de la línea roja en el eje y en la (Figura 24) representa la magnitud del caudal simulado, alcanzando un valor máximo de 2.5 m³/s en la microcuenca Varsovia. Cuando esta línea se eleva en el eje y, significa que el modelo está estimando un caudal mayor para ese período.

En la simulación de la (Figura 25) se observa que el caudal simulado alcanza un valor de 12 m³/s.

La altura de la línea roja en el eje y de la (Figura 26) representa la magnitud del caudal simulado, alcanzando un valor máximo de 1.6 m³/s en la microcuenca Yure.

Los modelos hidrológicos permiten una comprensión profunda de la dinámica de los flujos de agua, facilitando la planificación ante escenarios de cambio climático. Como subraya Silveira et al. (2022), la correcta implementación de estos modelos es esencial para interpretar y gestionar los regímenes de caudales en cuencas hidrográficas. Asimismo, Bedri y Piechota (2022) destacan la importancia de integrar datos históricos con proyecciones climáticas para anticipar cambios en los regímenes de flujo, lo cual es crítico para la adaptación a futuros escenarios de sequía y excedentes.

5.3. Uso de Suelo

5.3.1. NDVI y Uso de Suelo para la Microcuenca Balas

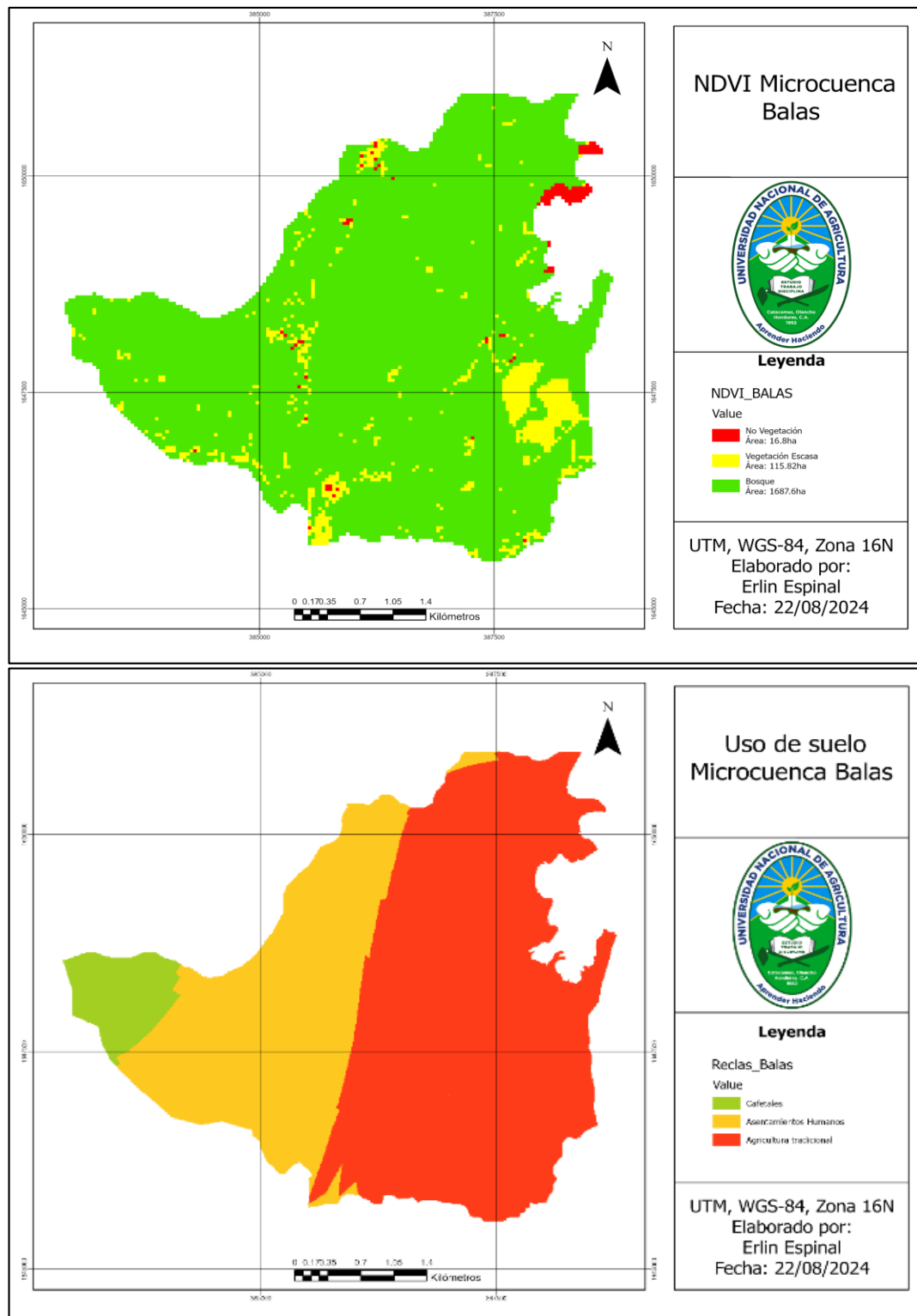


Figura 27 NDVI y Uso de Suelo en Microcuencas Balas

En los mapas proporcionados (Figura 26), se observan diferencias significativas entre la cobertura vegetal evaluada a través del NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada) y el uso del suelo en la microcuenca Balas.

El mapa del NDVI representa la densidad de la vegetación en la microcuenca Balas. Los valores altos de NDVI, que aparecen en verde, indican áreas con una cobertura vegetal densa, principalmente bosque, que cubre la mayor parte de la microcuenca 1687.6 ha (**92.68%**).

Por otro lado, las áreas de vegetación escasa, marcadas en amarillo, ocupan una superficie menor 115.82 ha (**6.32%**). Estas áreas pueden corresponder a zonas de transición entre el bosque y las tierras agrícolas o asentamientos humanos. Las áreas sin vegetación, señaladas en rojo, son las más limitadas 16.8 ha (**0.92%**), y suelen representar superficies expuestas, como caminos, construcciones u otras infraestructuras.

La mayor parte de la microcuenca está dominada por la agricultura tradicional, que abarca gran parte del área en rojo. Los cafetales, identificados en verde en el mapa de uso del suelo, ocupan una pequeña porción en el extremo occidental de la microcuenca.

La comparación entre los mapas de NDVI y uso del suelo revela una correlación significativa entre la pérdida de cobertura vegetal y la expansión de actividades agrícolas y urbanas en la microcuenca Balas.

5.3.2. NDVI y Uso de Suelo Microcuenca Monte Verde

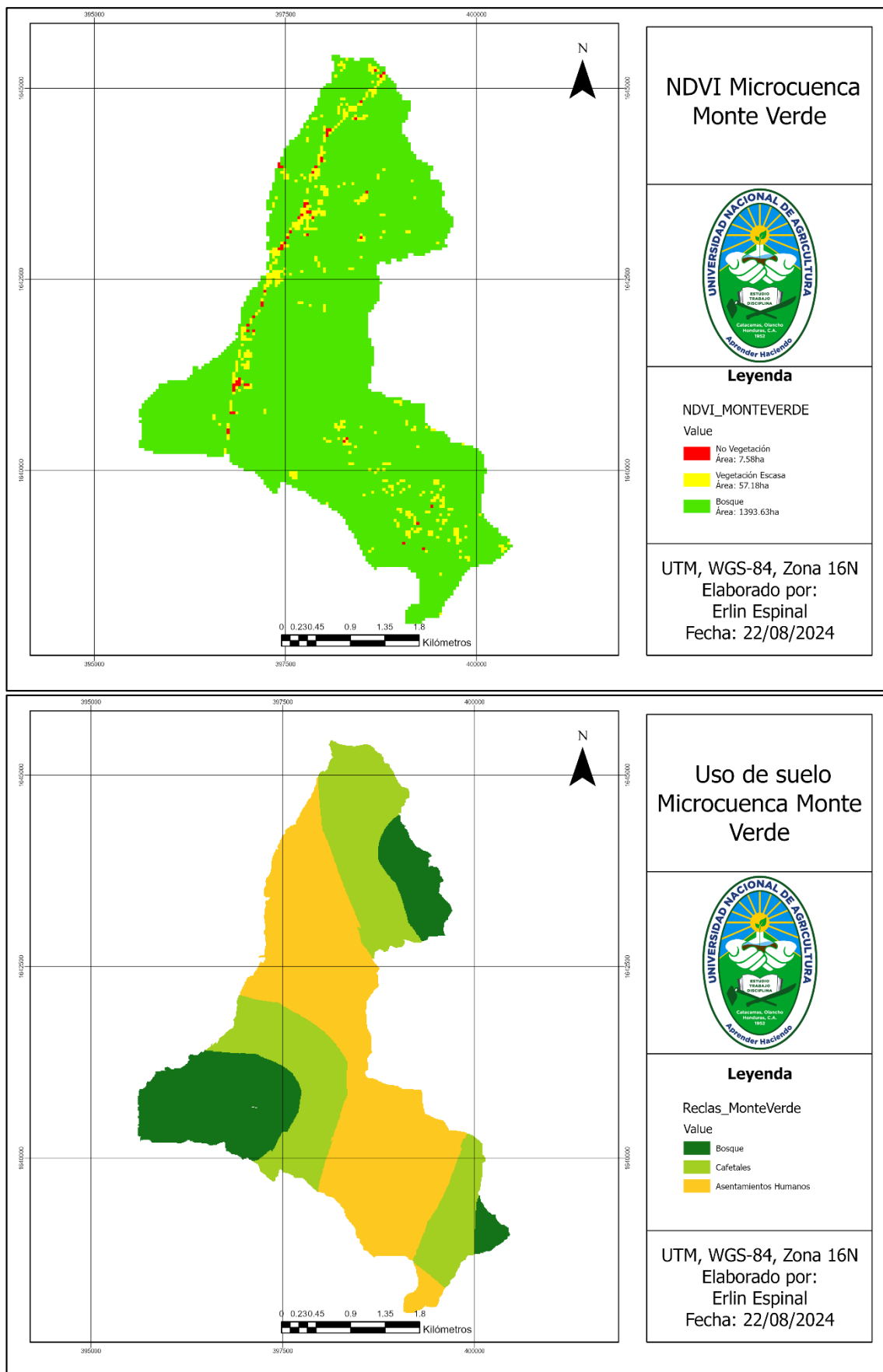


Figura 28 NDVI y Uso de Suelo de Microcuenca Monte Verde

El mapa del NDVI de la microcuenca Monte Verde refleja una alta proporción de áreas con densa vegetación, representadas en verde y clasificadas como bosque. Estas áreas cubren una extensión de 1393.63 hectáreas (**95.56%**).

Por otra parte, las áreas de vegetación escasa, señaladas en amarillo, cubren una superficie menor de 57.18 (**3.51%**) hectáreas. Estas zonas pueden representar áreas donde la vegetación ha sido degradada o está en proceso de regeneración. Es importante notar que las zonas de no vegetación, marcadas en rojo, son muy limitadas, ocupando solo 7.58 hectáreas (**0.52%**).

Los bosques cubren áreas significativas en la parte central y noreste de la microcuenca, coincidiendo con las zonas de alta densidad de vegetación observadas en el mapa de NDVI.

Los cafetales ocupan una cantidad considerable de terreno, distribuidos principalmente en la zona oeste y sureste de la microcuenca. Estos cafetales mantienen una cierta cobertura vegetal, aunque no tan densa como los bosques naturales, lo cual se refleja en las áreas de vegetación escasa en el mapa del NDVI. Los asentamientos humanos coinciden principalmente con áreas de no vegetación en el mapa del NDVI.

5.3.3. NDVI y Uso de Suelo Microcuenca Quebradona

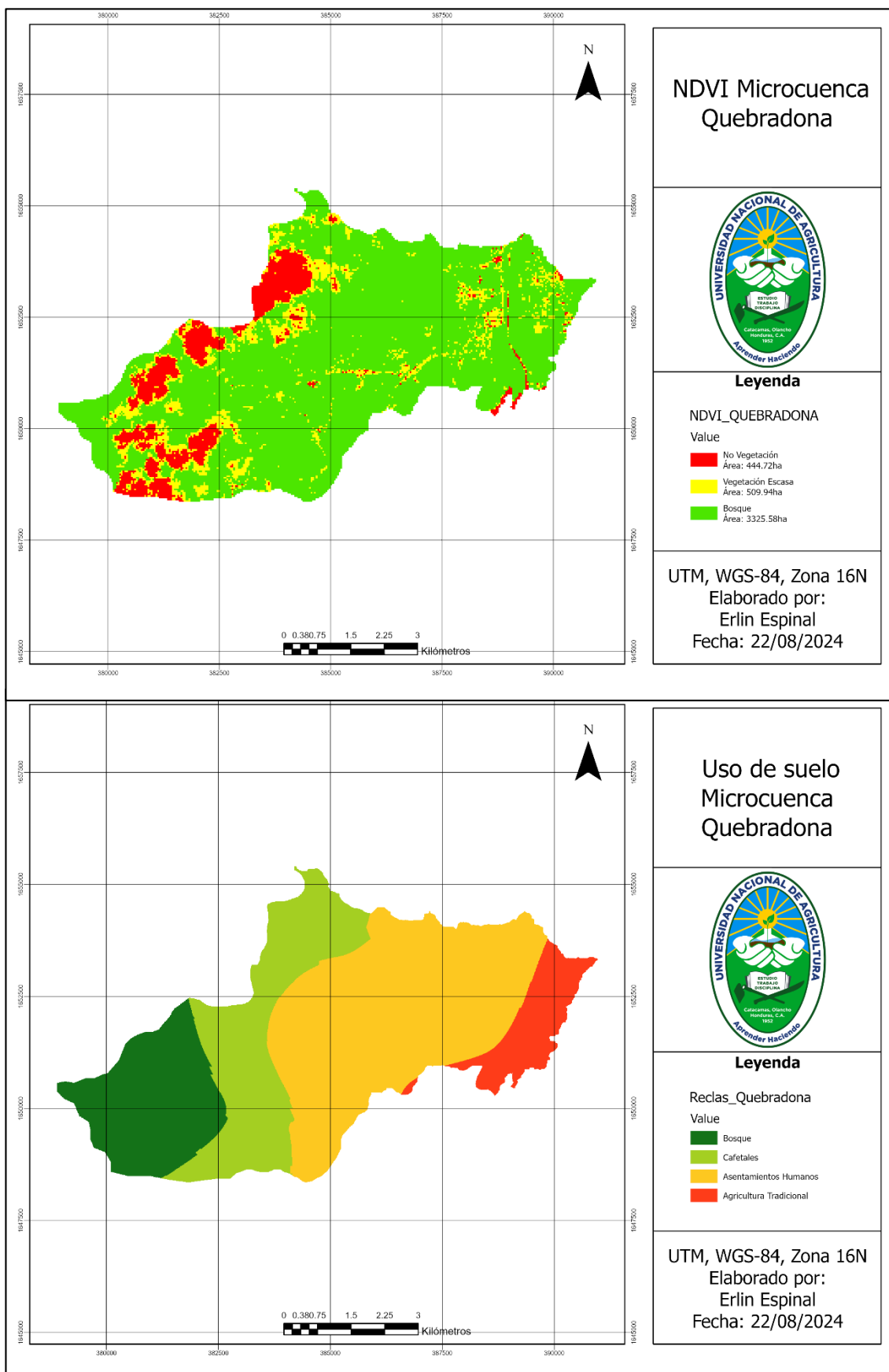


Figura 29 NDVI y Uso de Suelo Microcuenca Quebradona

El mapa del NDVI de la microcuenca Quebradona revela una variabilidad en la densidad de la vegetación. Las áreas de bosque, representadas en verde, cubren la mayor parte de la microcuenca, abarcando un total de 3325.58 hectáreas (**77.70%**).

Las áreas de vegetación escasa, marcadas en amarillo, ocupan 509.94 hectáreas (**11.91%**). Estas zonas podrían estar experimentando algún grado de degradación o ser áreas donde la vegetación ha sido parcialmente removida para actividades agrícolas o urbanas. Las áreas sin vegetación, representadas en rojo, suman 444.72 (**10.39%**) hectáreas y están concentradas en varias secciones de la microcuenca.

Los cafetales están distribuidos en varias partes de la microcuenca, especialmente en la región noroeste y en áreas dispersas en el centro. Estas zonas de cafetales coinciden en gran medida con las áreas de vegetación escasa en el mapa del NDVI, lo que sugiere que, aunque estos sistemas agroforestales mantienen cierta cobertura vegetal. Finalmente, la agricultura tradicional, señalada en rojo, cubre principalmente la región este de la microcuenca, donde coincide con áreas de baja o nula vegetación en el mapa del NDVI.

Las zonas con alta densidad de vegetación se concentran principalmente en áreas boscosas que aún no han sido significativamente alteradas por actividades humanas.

5.3.4. NDVI y Uso de Suelo Microcuenca Raíces

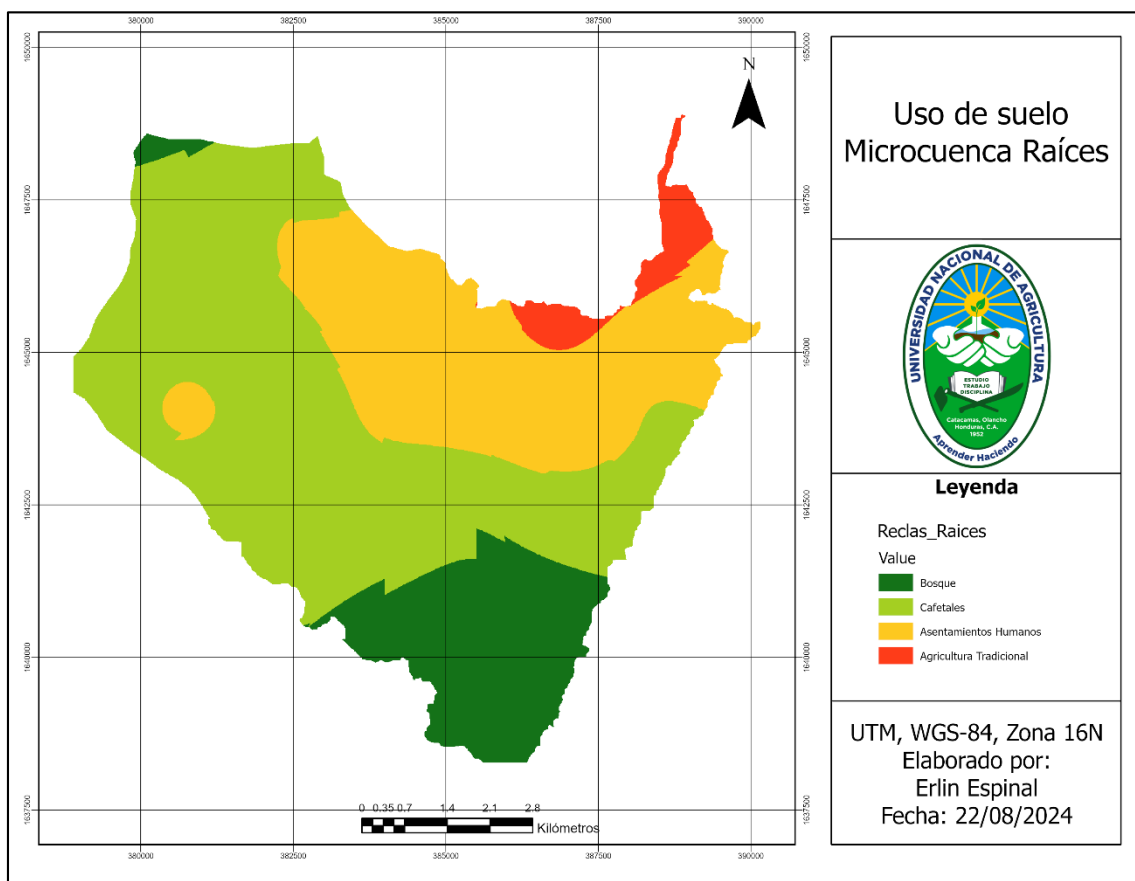
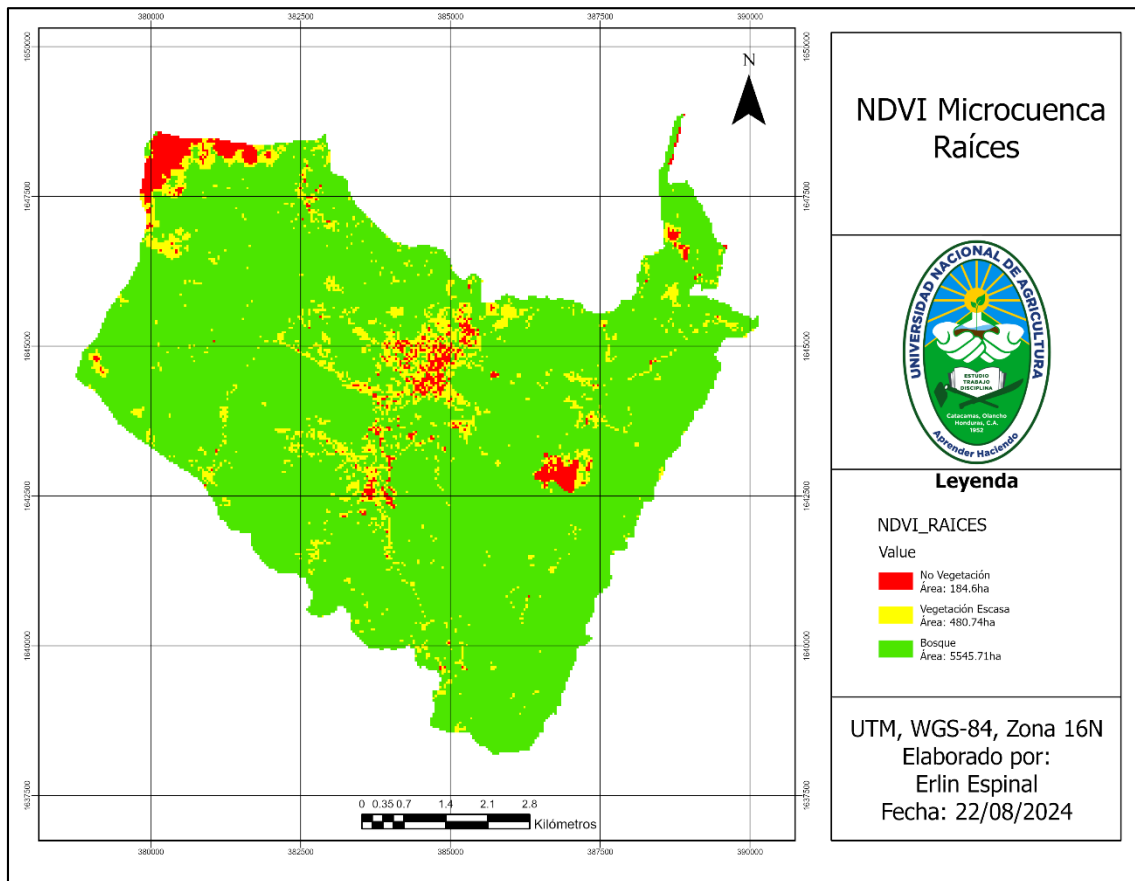


Figura 30 NDVI y Uso de Suelo Raíces

El mapa del NDVI de la microcuenca Raíces muestra una predominancia de áreas densamente vegetadas, representadas en verde, que cubren una superficie de 5545.71 hectáreas (**89.29%**).

Las áreas de vegetación escasa, mostradas en amarillo, abarcan 480.74 hectáreas (**7.74%**) y suelen encontrarse dispersas por toda la microcuenca. Estas áreas pueden estar sometidas a algún grado de perturbación, posiblemente debido a prácticas agrícolas.

Las áreas sin vegetación, señaladas en rojo, cubren 184.6 hectáreas (**2.97%**). Estas zonas están localizadas principalmente en el noroeste y en áreas dispersas en el centro y noreste de la microcuenca. El bosque cubre una gran parte de la microcuenca, especialmente en el suroeste y el extremo sur. Estas áreas coinciden con las zonas de alta densidad de vegetación observadas en el mapa de NDVI, lo cual es indicativo de una cobertura vegetal robusta y bien conservada.

Los asentamientos humanos están concentrados principalmente en el centro y noreste de la microcuenca. Estas áreas urbanizadas coinciden con las zonas de no vegetación en el mapa del NDVI, lo cual es consistente con la remoción completa de la vegetación para permitir el desarrollo de infraestructuras urbanas.

5.3.5. NDVI y Uso de Suelo Microcuenca Varsovia

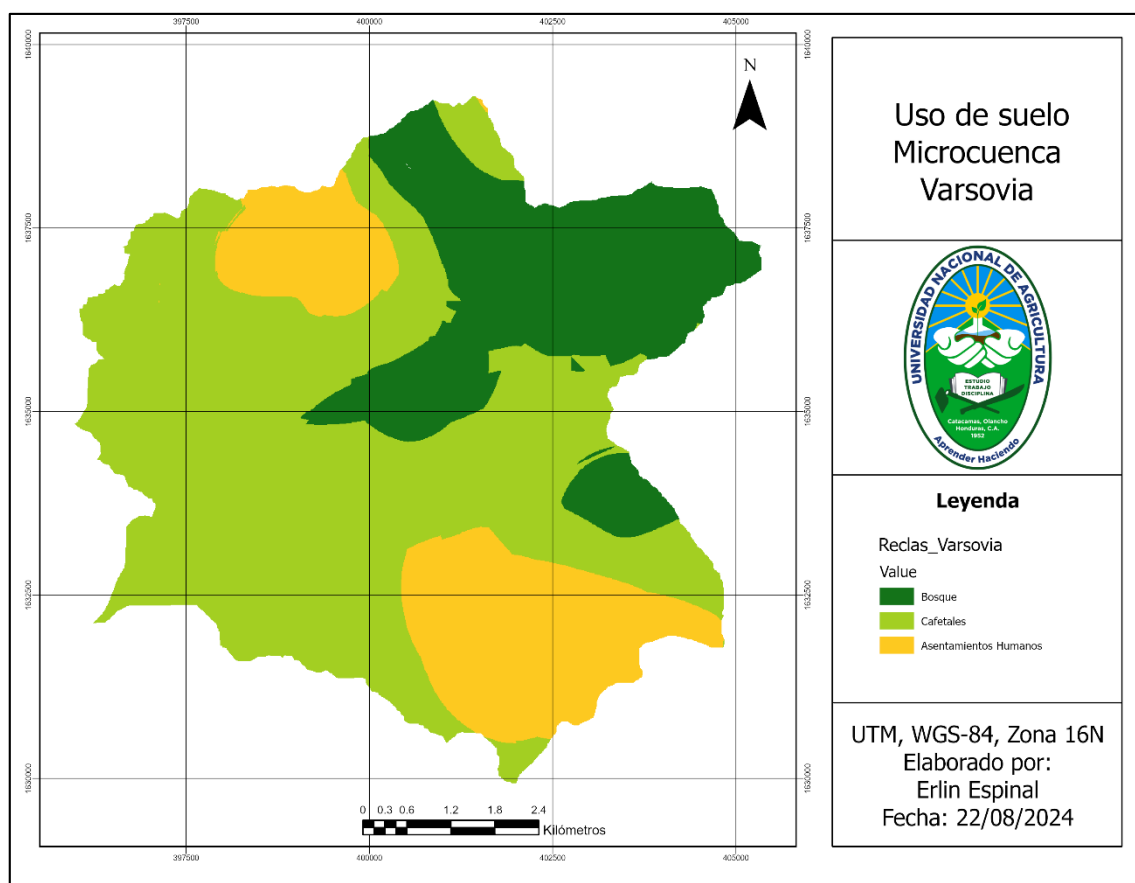
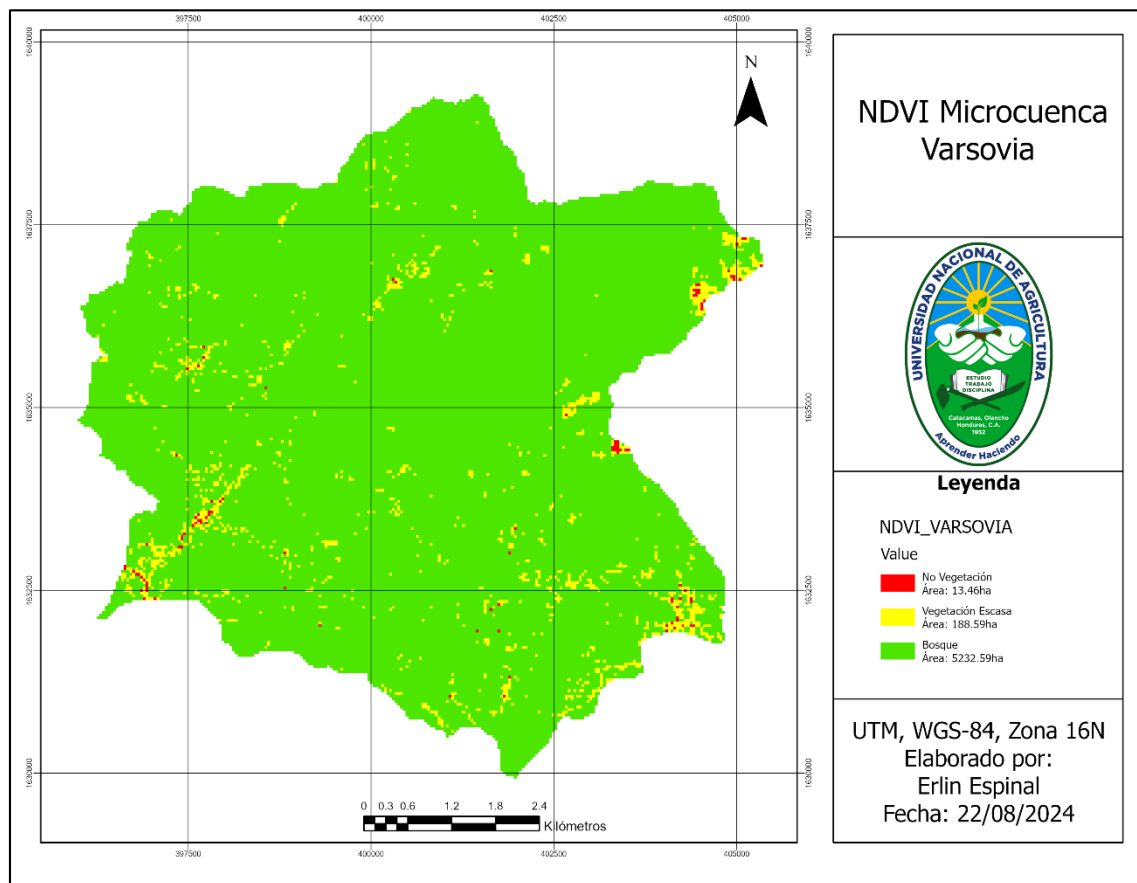


Figura 31 NDVI y Uso de Suelo Microcuenca Varsovia

Las áreas de vegetación escasa, indicadas en amarillo, abarcan 188.59 hectáreas (**3.47%**). Estas zonas dispersas pueden representar áreas de transición o degradación. Finalmente, las áreas sin vegetación, representadas en rojo, son limitadas y cubren 13.46 hectáreas (**0.25%**), concentradas principalmente en el suroeste y algunas pequeñas áreas al norte de la microcuenca

En el mapa de uso de suelo (Figura 30) el bosque cubre la mayor parte de la microcuenca, especialmente en el centro y el norte, coincidiendo con las zonas de alta densidad de vegetación observadas en el mapa del NDVI.

Los asentamientos humanos, representados en amarillo, se encuentran en varias áreas dispersas dentro de la microcuenca, principalmente en el suroeste y el centro. Los cafetales están distribuidos principalmente en la región suroeste y en el centro de la microcuenca.

5.3.6. NDVI y Uso de Suelo Microcuenca Yure

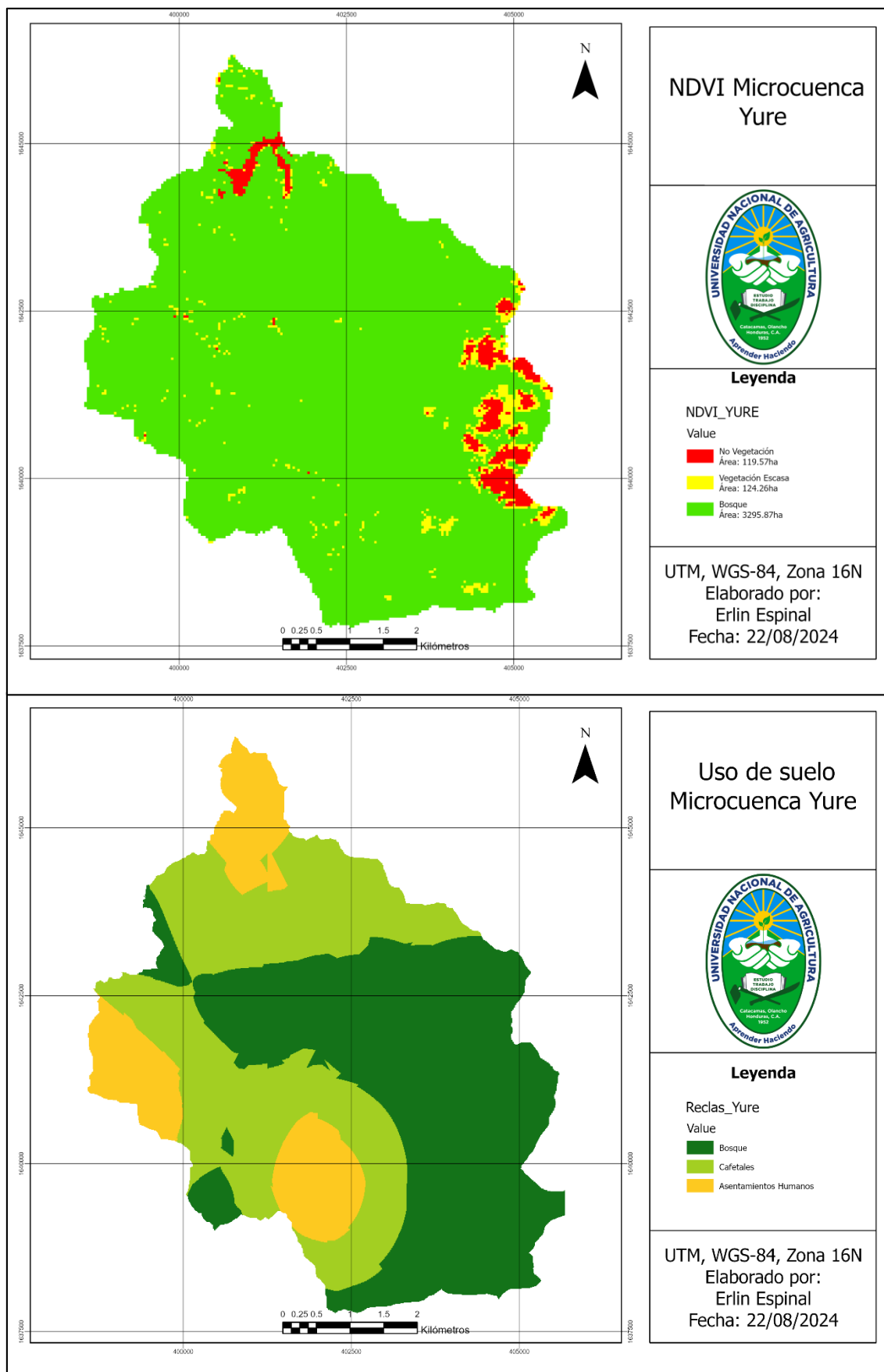


Figura 32 NDVI y Uso de Suelo Microcuenca Yure

El mapa del NDVI de la microcuenca Yure indica que una gran parte de la microcuenca está cubierta por vegetación densa, con áreas de bosque que abarcan 3295.87 hectáreas (**93.11%**), representadas en verde. Las áreas de vegetación escasa, marcadas en amarillo, ocupan 124.26 hectáreas (**3.51%**). Estas zonas se encuentran dispersas en diferentes partes de la microcuenca y pueden estar relacionadas con actividades agrícolas. Por otro lado, las áreas sin vegetación, representadas en rojo, cubren 119.57 hectáreas (**3.38%**). Estas zonas están concentradas principalmente en la parte norte y este de la microcuenca.

Al igual que las anteriores microcuencas el bosque sigue siendo la categoría predominante, especialmente en el centro y sur de la microcuenca, coincidiendo con las áreas de alta densidad de vegetación en el mapa de NDVI.

El NDVI ha demostrado ser una herramienta crucial en la evaluación continua de la salud de la vegetación, particularmente en el contexto del cambio climático. Zhang *et al.* (2021) destacan cómo el NDVI puede detectar rápidamente cambios en la cobertura vegetal, proporcionando datos esenciales para la gestión ambiental y la planificación de la conservación.

Los cafetales están distribuidos principalmente en la región norte y central de la microcuenca. Aunque estos sistemas agroforestales contribuyen a la cobertura vegetal, su densidad es menor en comparación con los bosques naturales. Los asentamientos humanos, representados en amarillo, están concentrados en el noroeste y algunas zonas dispersas en el sur de la microcuenca.

La conservación de los bosques dentro de las microcuencas es esencial para mantener la estabilidad hidrológica y la biodiversidad. DeFries *et al.* (2004) argumentan que la preservación de áreas boscosas en regiones clave puede mitigar los efectos adversos del cambio en el uso del suelo, asegurando la sostenibilidad a largo plazo de los servicios ecosistémicos

5.3.7. Comparación de áreas del NDVI

Tabla 1 Comparación de áreas de NDVI

Nombre de la Microcuenca	Tipo de Vegetación	Área de NDVI en hectáreas (ha)	Porcentaje NDVI (%)
Balas	Bosque denso	1687.6	92.68
	Vegetación escasa	115.82	6.32
	Sin vegetación	16.8	0.92
Monte Verde	Bosque denso	1393.63	95.56
	Vegetación escasa	57.18	3.51
	Sin vegetación	7.58	0.52
Quebradona	Bosque denso	3325.58	77.7
	Vegetación escasa	509.94	11.91
	Sin vegetación	444.72	10.39
Raíces	Bosque denso	5545.71	89.29
	Vegetación escasa	480.74	7.74
	Sin vegetación	184.6	2.97
Varsovia	Bosque denso	5232.59	96.28
	Vegetación escasa	188.59	3.47
	Sin vegetación	13.46	0.25
Yure	Bosque denso	3295.87	93.11
	Vegetación escasa	124.26	3.51
	Sin vegetación	119.57	3.38

Tabla 2 Comparación de áreas de Uso de suelo

Microcuenca	Categoría	Área en ha	Porcentaje
Balas	Cafetales	101.15	5.55%
	Asentamientos Humanos	605.63	33.25%
	Agricultura Tradicional	1114.92	61.20%
Monteverde	Bosque	323.13	22.13%
	Cafetales	495.79	33.96%
	Asentamientos Humanos	641.07	43.91%
Quebradona	Bosque	834.47	19.50%
	Cafetales	1066.94	24.93%
	Asentamientos Humanos	2011.01	47.00%
	Agricultura Tradicional	366.59	8.57%
Raíces	Bosque	1010.16	16.28%
	Cafetales	3159.81	50.93%
	Asentamientos Humanos	1818.64	29.31%
	Agricultura Tradicional	216.01	3.48%
Varsovia	Bosque	1308.48	24.08%
	Cafetales	3037.73	55.91%
	Asentamientos Humanos	1087.20	20.01%
Yure	Bosque	1691.07	47.78%
	Cafetales	1306.14	36.90%
	Asentamientos Humanos	542.36	15.32%

VI. CONCLUSIONES.

Los modelos hidrológicos creados muestran un comportamiento similar en la cuenca, sin embargo, se muestran algunas diferencias con las demás métricas que pueden estar relacionadas con el área de cada microcuenca.

El análisis del uso del suelo en las microcuencas revela una mezcla de áreas con vegetación densa, zonas de vegetación escasa y áreas sin vegetación, lo que refleja diferentes niveles de intervención humana. Es fundamental que se adopten prácticas de manejo sostenible del suelo para proteger la calidad del agua y la biodiversidad en la cuenca del Lago de Yojoa.

VII. RECOMENDACIONES

Es recomendable continuar con el monitoreo climático en la cuenca del Lago de Yojoa mediante estaciones meteorológicas y el uso de tecnologías satelitales.

Recomiendo implementar y calibrar continuamente los modelos hidrológicos para cada microcuenca utilizando datos actualizados de precipitación y caudal. Es importante también validar estos modelos mediante estudios de campo que permitan ajustar los parámetros y mejorar la precisión de las simulaciones

Es crucial realizar una actualización periódica de los mapas de uso del suelo utilizando imágenes satelitales de alta resolución. De igual manera con la respectiva validación en campo de cada lugar.

VIII. BIBLIOGRAFIA

- Acosta-Rivera, KG. 2018. Caracterización limnológica del Lago de Yojoa y Calidad del agua procedente del área de drenaje (en línea). :180. Disponible en <http://repositorio.unan.edu.ni/16490/1/16490.pdf>.
- Andino Mejía, JW. 2005. Planificación del manejo de los recursos naturales con base en los servicios ambientales prioritarios en la subcuenca del Lago de Yojoa, Honduras. (en línea). Sidalc.Net :165. Disponible en <http://www.sidalc.net/REPDO/A0679E/A0679E.PDF>.
- Argeñal, FJ. 2010. Variabilidad Climática y Cambio Climático en Honduras (en línea). Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo PNUD :85. Disponible en http://www.bvsde.org.ni/Web_textos/GOLFONSECA/0173/14_variabilidad_climatica_Honduras.pdf.
- BCIE. 2023. BCIE anuncia proyecto verde ganador del Fondo de Preparación de Inversión en Cambio Climático de la región (en línea, sitio web). Consultado 5 nov. 2023. Disponible en <https://www.bcie.org/novedades/noticias/articulo/bcie-anuncia-proyecto-verde-ganador-del-fondo-de-preparacion-de-inversion-en-cambio-climatico-de-la-region>.
- Cabrera, J. 2012. Modelos hidrológicos distribuidos (en línea). Rhama :8. Disponible en http://www.imefen.uni.edu.pe/Temas_interes/modhidro_1.pdf.
- Cai, W; Wang, G; Dewitte, B; Wu, L; Santoso, A; Takahashi, K; Yang, Y; Carréric, A; McPhaden, MJ. 2018. Increased variability of eastern Pacific El Niño under greenhouse warming (en línea). Nature 564(7735):201-206. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0776-9>.
- CEPAL. 2017. El cambio climático y sus efectos en la biodiversidad de América Latina SÍNTESIS DE POLÍTICAS PÚBLICAS SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO. .
- DeFries, RS; Foley, JA; Asner, GP. 2004. Balancing human needs and ecosystem function RS DeFries *et al* (en línea). Frontiers in Ecology and the Environment

2(5):249-257. Disponible en www.frontiersinecology.org.

Dourojeanni, A; Jouravlev, A; Chávez, G. 2002. Gestión del agua a nivel de cuencas: teoría y práctica (en línea). s.l., s.e., vol.47. 83 p. DOI: <https://doi.org/1680-9025>.

Drusch, M; Del Bello, U; Carlier, S; Colin, O; Fernandez, V; Gascon, F; Hoersch, B; Isola, C; Laberinti, P; Martimort, P; Meygret, A; Spoto, F; Sy, O; Marchese, F; Bargellini, P. 2012. Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services. *Remote Sensing of Environment* 120:25-36. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.11.026>.

El Lago de Yojoa y la percepción equivocada de su concentración de contaminantes orgánicos - Blogs UNAH. 2023. (en línea, sitio web). Consultado 3 nov. 2023. Disponible en <https://blogs.unah.edu.hn/dircom/el-lago-de-yojoa-y-la-percepcion-equivocada-de-su-concentracion-de-contaminantes-organicos/>.

Giannini, A; Saravanan, R; Chang, P. 2004. Oceanic Forcing of Sahel Rainfall on Interannual to Interdecadal Time Scales. *Environmental Modelling and Software* 19(2):113-128. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1364-8152\(03\)00114-2](https://doi.org/10.1016/S1364-8152(03)00114-2).

Guillen, C; Murugan, V; Davila, M. 2014. Aplicación de teledetección y SIG para el levantamiento cartográfico de los suelos de la cuenca Solani, India (en línea, sitio web). Disponible en <https://www.redalyc.org/journal/3477/347743079003/html/>.

Guillén, R. 2015. Series title or type of document Situación de los Recursos Hídricos en Centroamérica (en línea). . Consultado 5 nov. 2023. Disponible en www.gwpcentroamerica.org.

Gupta, HV; Sorooshian, S; Yapo, PO. 1998. Toward improved calibration of hydrologic models: Multiple and noncommensurable measures of information. *Water Resources Research* 34(4):751-763. DOI: <https://doi.org/10.1029/97WR03495>.

Hansen, J; Sato, M; Ruedy, R; Lo, K; Lea, DW; Medina-Elizade, M. 2006. Global temperature change. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 103(39):14288-14293. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.0606291103>.

- Hidalgo, HG; Amador, JA; Alfaro, EJ; Quesada, B. 2013. Hydrological climate change projections for Central America. *Journal of Hydrology* 495:94-112. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2013.05.004>.
- Honduras - Climatology | Climate Change Knowledge Portal. 2021. (en línea, sitio web). Consultado 4 nov. 2023. Disponible en <https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/honduras/climate-data-historical>.
- House, P. 2002. Diagnóstico Ambiental del Lago de Yojoa. :1-95.
- Huete, AR; Liu, HQ; Batchily, K; Leeuwen, W Van. 1995. A Comparison of Vegetation Indices over a Global Set of TM Images for EOS-MODIS (en línea). s.l., s.e. 7 p. Disponible en http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S071809342006000200005&lng=es&nrm=i%0Ahttp://www.unap.cl/prontus_unap/site/artic/20150505/asocfile/20150505105202/como_elaborar_una_introduccion_1.pdf%0Ahttp://www.unap.cl/prontus_unap/site/artic/2015.
- Jorquera, E *et al.* 2012. Revisión del estado del arte en la modelación hidrológica distribuida e integrada. 1° Encuentro de Investigadores en Formación en Recursos Hídricos (October 2014):18.
- Jouravlev, A. 2003. Los municipios y la gestión de los recursos hídricos. s.l., s.e. 70 p.
- Karmalkar, A V.; Bradley, RS; Diaz, HF. 2011. Climate change in Central America and Mexico: Regional climate model validation and climate change projections. *Climate Dynamics* 37(3):605-629. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00382-011-1099-9>.
- Lanza, W. 2021. ¿Cuál es la problemática ambiental en el Lago de Yojoa ? (en línea, sitio web). Disponible en <https://stnhn.com/cual-es-la-problematika-ambiental-en-el-lago-de-yojoa/>.
- Lauro, SE; Toscano, A; Vegni, L. 2008. Analysis of polarizing properties of birefringent negative indexed materials at optical frequencies. s.l., s.e. 431-434 p. DOI: <https://doi.org/10.1109/MELCON.2008.4618473>.
- Mark, -Por; Smith, E; Phillips, J V; Spahr, NE. 2001. HURACAN MITCH: Caudal de

- Creciente en Tramos de Rios Seleccionados en Honduras. .
- Mejía, M. 2011. DEPARTAMENTO DE AUDITORÍAS SECTOR. .
- Meléndez, D; Ramos, L; Velásquez, T; Altamirano, Li. 2021. Simulación con un modelo hidrológico distribuido de tipo conceptual a escala diaria en una cuenca semiárida del río Lurín, Perú (en línea). . Disponible en https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34292021000100017.
- Naturales, R. 1999. Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo. .
- Olivera Sánchez, C; Avellaneda Torres, LM. 2018. Guía de buenas prácticas para la gestión y uso sostenible de los suelos en áreas rurales : construcción participativa del diagnóstico de suelos,diseño de planes de intervención prácticas de manejo sostenible de los suelos (en línea). s.l., s.e. 126 p. p. Disponible en <http://hdl.handle.net/20.500.12324/35025>.
- OPS. 2020. Respuesta a los huracanes Eta e Iota - noviembre de 2020 | OPS/OMS | Organización Panamericana de la Salud (en línea, sitio web). Consultado 4 nov. 2023. Disponible en <https://www.paho.org/es/respuesta-huracanes-eta-iota>.
- Otero, L. 2011. Temporalidad de parámetros de calidad en el Lago de Yojoa, Honduras. :142.
- Reyes-avila, AD; Baxter, RA; Reyes-avila, AD. 2024. Assessment of the resilience and long-term effects of climate change on the surface area of Lake Yojoa Assessment of the resilience and long-term effects of climate change on the surface area of Lake Yojoa ABSTRACT (en línea). Sustainable Environment 10(1). DOI: <https://doi.org/10.1080/27658511.2024.2385734>.
- ROUSE, JW; HAAS, RH; SCHELL, JA; DEERING, DW. 1976. Metabolism of limonoids. Limonin d-ring lactone hydrolase activity in pseudomonas. Journal of Agricultural and Food Chemistry 24(1):24-26. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf60203a024>.
- SERNA. 2010. Estrategia Nacional de Cambio Climático Honduras (ENCC). .
- Singh, VP; Woolhiser, DA. 2003. Mathematical Modeling of Watershed Hydrology. Perspectives in Civil Engineering: Commemorating the 150th Anniversary of the

- American Society of Civil Engineers :345-367. DOI:
[https://doi.org/10.1061/\(asce\)1084-0699\(2002\)7:4\(270\)](https://doi.org/10.1061/(asce)1084-0699(2002)7:4(270)).
- Studer, E. 2007. La contaminación ambiental del Lago de Yojoa : Un estudio bibliográfico respecto a un Sistema de Indicadores Ambientales. 00(504):1-31.
- Thompson, DWJ; Wallace, JM. 2001. Regional climate impacts of the Northern Hemisphere annular mode. Science 293(5527):85-89. DOI:
<https://doi.org/10.1126/science.1058958>.
- Trenberth, KE; Fasullo, JT. 2013. Earth ' s Future An apparent hiatus in global warming ? Earth ' s Future. Earth's Future :1-14. DOI:
<https://doi.org/10.1002/2013EF000165>.Received.
- WMO. 2012. Glossaire international d'hydrologie. (en línea). s.l., s.e. 461 p. Disponible en
http://www.wmo.int/pages/prog/hwrrp/publications/international_glossary/385_I_GH_2012.pdf.
- Zhang, Q; Ge, L; Zhang, R; Metternicht, GI; Du, Z; Kuang, J; Xu, M. 2021. Deep-learning-based burned area mapping using the synergy of Sentinel-1&2 data. Remote Sensing of Environment 264:112575. DOI:
<https://doi.org/10.1016/J.RSE.2021.112575>.
- Zolina, O; Simmer, C; Belyaev, K; Kapala, A; Gulev, S. 2009. Improving estimates of heavy and extreme precipitation using daily records from European rain gauges. Journal of Hydrometeorology 10(3):701-716. DOI:
<https://doi.org/10.1175/2008JHM1055.1>.
- Zuniga. (1990). Las modalidades de la lluvia en Honduras. s.l., s.e.

IX. ANEXOS



Anexo 1 Medición de Caudales



Anexo 2 Toma de puntos para la elaboración de Mapas de uso de suelo



Anexo 3 Toma de datos de la estación meteorológica