



Por un Desarrollo Agrario
Integral y Sostenible

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

**DIRECCIÓN ESPECÍFICA DE CIENCIAS
AMBIENTALES Y CAMBIO CLIMATICO**

Trabajo de Tesis

**"Evaluación del cambio de uso de suelo y sus efectos
en la fragilidad paisajística y dinámica hídrica del
municipio de Jinotega, Nicaragua"**

Autor:

Br. Gender Isaac Gutiérrez Otero

Asesores:

MSc. Marcelo Villalobos Flores

MSc. José Ariel Cruz

**Presentado a la consideración del honorable comité
evaluador como requisito final para optar al grado de
Ingeniero en Recursos Naturales con mención en
Gestión Ambiental**

**Managua, Nicaragua
Diciembre, 2025**

Este trabajo de graduación fue evaluado y aprobado por el honorable comité evaluador designado por la dirección específica de Ciencias Ambientales y Cambio Climático como requisito final para optar al título profesional de:

Ingeniero En Recursos Naturales con mención en Gestión Ambiental

Miembros del Comité Evaluador

MSc. Claudio Gonzales
Presidente

Ing. Freydell Pinell
Secretario

MSc. Harvin Joel Bonilla
Vocal

Managua, Nicaragua, 01 de diciembre del 2025

DEDICATORIA

Primeramente, dedicar y agradecer a nuestro padre Cristo Jesús que me dio la sabiduría y la fuerza para seguir luchando en cada una de las etapas difíciles de la carrera universitaria y la vida, a mi madre Arelis Otero Picado agradecido eternamente por que ha estado conmigo en los momentos buenos y malos, por confiar y creer en mí,

De igual forma mi padre Pedro Antonio Gutiérrez Zepeda y Elder Otero Picado, que ha sido como un padre enseñándome los caminos de la vida y profesional, por último, dedicarle agradecimiento a mi abuela Juana picado Seas y Osman Zeledón, más que un amigo fue un hermano ya que el fuese sido una de las personas más felices al titularme como ingeniero.

Gender Isaac Gutiérrez Otero

AGRADECIMIENTO

Agradecer a mi amigo y Asesor Ariel Cruz por ayudarme en la etapa de investigación, por ser una de las personas que confió en este largo camino y apporto en mi crecimiento profesional, de igual forma a mi amigo y asesor Marcelo Villalobos por aceptar ser mi asesor, posteriormente agradecer a mi alma mater (Universidad Nacional Agraria) que me acogió durante cinco años, a todos los docentes que aportaron en mi crecimiento académico.

Gender Isaac Gutiérrez Otero

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	I
AGRADECIMIENTO	II
ÍNDICE DE FIGURAS	VI
ÍNDICE DE ANEXOS	VII
RESUMEN	VIII
ABSTRACT	IX
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	3
2.2. Objetivo general	3
2.3. Objetivos específicos	3
III. ANTECEDENTES.	4
IV. MARCO DE REFERENCIA	4
3.1. Cambio en el uso del suelo y su impacto ambiental.	4
3.2 Fragilidad del paisaje	5
3.3 Dinámica hídrica y regulación del agua.	7
3.4. Modelos hidrológicos	8
3.4.1. Clasificación de los modelos hidrológicos	9
3.4.2. Estudios relacionados al cambio de usos de la tierra	9
3.4.4. Casos en Nicaragua	10
3.4.5. Experiencias regionales	11
3.5. Vacíos de investigación	11

IV. MATERIALES Y MÉTODOS	12
4.1. Ubicación del estudio	12
4.1.2. Descripción climática	13
4.1.3. Descripción de suelos	14
4.1.4. Cobertura y usos del suelo.	14
4.1.5. Uso potencial de la tierra	14
4.2. Enfoque y diseño metodológico	14
4.3. Manejo del ensayo y metodológicas	15
4.3.1. Recopilación y preparación de información geoespacial	16
4.3.2. Trabajo de campo y levantamiento de datos	16
4.4. Procesamiento y análisis de datos	17
4.4.1. Análisis espacio temporal del cambio de uso del suelo (CUS)	17
4.4.3. Balance Hidrológico y Capacidad de Retención de Agua disponible	19
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	22
5.1. Cambio del uso de suelo del municipio de Jinotega (2001–2023)	22
5.1.1. Pérdida de bosque latifoliado desde el año 2001 hasta el 2023	24
5.1.2. Pérdida de cobertura arbórea en Jinotega, Jinotega, Nicaragua	25
5.1.4. Clases de cobertura de suelo 2020-2023.	27
5.1.5. Pérdida de cobertura arbórea a causa de los incendios	28
5.2. Fragilidad paisajística	30
5.2.2. Fragilidad paisajística del año 2000:	30
5.2.3. Fragilidad Paisajística del año 2010	32
5.2.4. Fragilidad paisajística del año 2023.	33
5.3. Dinámica Hídrica del municipio de Jinotega.	35
5.3.2. Dinámica Hídrica del año 2000.	35
5.3.3. Dinámica hídrica del año 2010.	37
5.3.4. Dinámica Hídrica del año 2016.	39
5.3.6. Análisis estadístico relación multivariada	44
VI. CONCLUSIONES	47
VII. RECOMENDACIONES.	48
VIII. LITERATURA CITADA	49
IX. ANEXOS	52

ÍNDICE DE CUADROS

Tabla 1. Evaluación de la fragilidad paisajística	18
Tabla 2 Capacidad de retención de agua según textura del suelo.	35

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Municipio de Jinotega	6
Figura 2 Proceso de la dinámica hídrica.	7
Figura 3 Esquema del modelo conceptual general del módulo hidroneumático	9
Figura 5 Mapa de ubicación del municipio de Jinotega.	12
Figura 6 clasificación de Köppen	13
Figura 7 Modelo conceptual General.	15
Figura 8 Flujograma General del Estudio.	15
Figura 9 Esquema del balance hídrico.	21
Figura 10 Mapa de Pérdida de cobertura arbórea del 2001.	23
Figura 11 Pérdida de bosques latifoliados	25
Figura 12 Pérdida de cobertura arbórea.	26
Figura 13 Cubierta arbórea del año 2023.	28
Figura 14 Pérdida de cobertura arbórea por incendios.	29
Figura 15 Mapa de fragilidad del paisaje año 2000	31
Figura 16 Mapa de fragilidad del paisaje año 2010	32
Figura 17 Mapa de Fragilidad del paisaje del año 2023.	34
Figura 18 Balance hídrico del año 2000.	36
Figura 19 Disponibilidad hídrica del año 2000.	37
Figura 20 Balance hídrico del año 2010.	38
Figura 21 Disponibilidad hídrica del año 2010.	39
Figura 22 Balance hídrico del año 2016.	40
Figura 23 Disponibilidad hídrica del año 2016.	41
Figura 24 Balance hídrico año 2023	42
Figura 25 Disponibilidad hídrica año 2023	43
Figura 26 relación Multivariada	44
Figura 27 correlación de precipitación vs deforestación.	45
Figura 28 correlación de precipitaciones vs temperaturas.	46

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO	PÁGINA
Anexo 1 Fotos del municipio de Jinotega	52
Anexo 2 Fotos del paisaje de Jinotega	52
Anexo 3 Fotos de zonas de conservación de Jinotega	53
Anexo 4 Fotos de Zona de urbanización Jinotega	53
Anexo 5 Fotos de bosque latifoliado de Jinotega.	54
Anexo 6 Fotos de bosque latifoliado de Jinotega	54
Anexo 7 Fotos del paisaje de Jinotega	55
Anexo 8 Fotos del paisaje de Jinotega	55
Anexo 9 Fotos de arvenses Jinotega	56
Anexo 10 Fotos de levantamiento de campo Jinotega.	57

RESUMEN

La presente investigación evaluó el impacto del cambio de uso de suelo sobre la fragilidad paisajística y la dinámica hídrica en el municipio de Jinotega, Nicaragua, durante el período 2000-2023. El estudio surge ante la acelerada degradación de los recursos naturales impulsada por actividades antrópicas y el avance de la frontera agrícola. El objetivo principal fue determinar los efectos de la deforestación sobre la vulnerabilidad del paisaje y el comportamiento hídrico local. La metodología integró el análisis multitemporal de imágenes satelitales para cuantificar la pérdida de cobertura arbórea e incendios forestales. La fragilidad paisajística se caracterizó mediante la interrelación de variables como pendiente, tipos de vegetación y presencia de cuerpos de agua. Asimismo, la dinámica hídrica se analizó vinculando la pérdida de cobertura con variables climáticas (precipitación, temperatura y evapotranspiración) y las propiedades físico-mecánicas de los suelos. Los resultados revelan una pérdida crítica de 9,531 hectáreas de cobertura arbórea entre 2001 y 2023. Esta reducción, impulsada por monocultivos intensivos, ha incrementado los niveles de antropización, transformando paisajes de alta belleza escénica en zonas de vulnerabilidad crítica. En términos hídricos, la sustitución de bosque por suelo desnudo temporal ha alterado la regulación hídrica, provocando déficits severos en épocas de estiaje y sobresaturación de suelos durante periodos de alta precipitación. Finalmente, el análisis de correlación estadística demostró que los cambios en la dinámica hídrica y la deforestación no están condicionados por la variabilidad climática natural. Si bien la temperatura mostró una correlación positiva leve con la pérdida de bosque, se concluye que la transformación del territorio obedece estrictamente a decisiones de uso de suelo. Estos hallazgos subrayan la necesidad urgente de políticas de ordenamiento territorial que mitiguen la degradación irreversible de los servicios ecosistémicos en el municipio.

Palabras Claves:

Deforestación, Cambio de uso de suelo, Fragilidad paisajística, Dinámica hídrica, Análisis multitemporal, Jinotega, Gestión ambiental.

ABSTRACT

The present research evaluated the impact of land-use change on landscape fragility and water dynamics in the municipality of Jinotega, Nicaragua, during the 2000-2023 period. This study arises in response to the accelerated degradation of natural resources driven by anthropogenic activities and the expansion of the agricultural frontier. The primary objective was to determine the effects of deforestation on landscape vulnerability and local hydrological behavior. The methodology integrated multi-temporal analysis of satellite imagery to quantify forest cover loss and forest fires. Landscape fragility was characterized through the interrelation of variables such as slope, vegetation types, and the presence of water bodies. Furthermore, water dynamics were analyzed by linking cover loss with climatic variables, including precipitation, temperature, and evapotranspiration—and the physical-mechanical properties of the soil. The results reveal a critical loss of 9,531 hectares of forest cover between 2001 and 2023. This reduction, driven by intensive monocultures, has increased anthropization levels, transforming high-aesthetic-value landscapes into areas of critical vulnerability. Regarding water dynamics, the replacement of forest with temporarily bare soil has altered hydrological regulation, leading to severe deficits during dry seasons and soil oversaturation during periods of high precipitation. Finally, statistical correlation analysis demonstrated that changes in water dynamics and deforestation are not conditioned by natural climatic variability. Although temperature showed a slight positive correlation with forest loss, it is concluded that territorial transformation is strictly due to land-use decisions. These findings underscore the urgent need for land-use planning policies to mitigate the irreversible degradation of ecosystem services in the municipality.

Keywords:

Deforestation, Land-use change, Landscape fragility, Water dynamics, Multi-temporal analysis, Jinotega, Environmental management.

I. INTRODUCCIÓN

El paisaje es una manifestación dinámica del territorio, compuesto por una variedad de ecosistemas interconectados que evolucionan en función de factores naturales y antrópicos. Su estructura y funcionalidad dependen del equilibrio entre los elementos bióticos y abióticos, lo que determina su calidad visual, su estabilidad y su capacidad de proveer servicios ecosistémicos esenciales (Guillen Meza & Gutiérrez Vargas, 2013).

Sin embargo, el crecimiento de la actividad humana ha intensificado el proceso de antropización, afectando la integridad del paisaje y generando impactos negativos en la calidad visual y en la estabilidad hídrica de las cuencas hidrográficas. En particular, el cambio en el uso del suelo ha provocado modificaciones en la dinámica hídrica, afectando la infiltración, la escorrentía y la capacidad de recarga de los cuerpos de agua (Pérez Ortiz, 2017). Estos cambios repercuten en la conservación de los ecosistemas, en la resiliencia del paisaje y en la disponibilidad de recursos hídricos.

El municipio de Jinotega enfrenta un deterioro progresivo debido a la deforestación, la expansión agrícola y el desarrollo urbano descontrolado. Estos factores han alterado la calidad del paisaje y han impactado la disponibilidad de agua, lo que compromete la sostenibilidad ambiental y el bienestar de las comunidades locales. La fragmentación del paisaje y la degradación del suelo no solo afectan la biodiversidad, sino que también disminuyen la capacidad de absorción hídrica, aumentando los riesgos de erosión y pérdida de recursos hídricos esenciales para el desarrollo socioeconómico de la región (Martínez & Herrera, 2020).

En Nicaragua, los estudios sobre la relación entre el cambio en el uso del suelo, la dinámica hídrica y la calidad paisajística son limitados. Investigaciones previas han demostrado que la conversión de bosques a tierras agrícolas y urbanas provoca un aumento en la escorrentía superficial y una reducción en la infiltración, lo que afecta la recarga de los acuíferos y la disponibilidad de agua potable (López & Rivas, 2018). Estas alteraciones tienen implicaciones

directas en la estabilidad de los ecosistemas y en la capacidad de las comunidades para acceder a recursos hídricos sostenibles.

El presente estudio tiene como objetivo evaluar el impacto del cambio en el uso del suelo, la fragilidad paisajística y la dinámica hídrica en el municipio de Jinotega, utilizando herramientas de Sistemas de Información Geográfica (QGIS) y modelos hidrológicos. Se espera que los resultados obtenidos contribuyan al diseño de estrategias de conservación y manejo sostenible, promoviendo la concienciación sobre la importancia del paisaje y sus servicios ecosistémicos. Asimismo, busca generar información científica que sirva como base para futuras políticas públicas enfocadas en la gestión del territorio y la conservación de los recursos hídricos en Nicaragua.

II. OBJETIVOS

2.2.Objetivo general

Evaluar el impacto del cambio en el uso del suelo, la fragilidad del paisaje y la afectación en la dinámica hídrica del municipio de Jinotega 2000-2023.

2.3. Objetivos específicos

- ✓ Determinar el cambio del uso de suelo del municipio de Jinotega, identificando patrones y tendencias mediante imágenes satelitales.
- ✓ Caracterizar la fragilidad del paisaje para comprender su vulnerabilidad frente a los cambios de usos del suelo.
- ✓ Analizar la dinámica hídrica del municipio de Jinotega para proponer estrategias de mitigación y conservación.

III. ANTECEDENTES.

En Nicaragua, destacan investigaciones como las de López y Rivas (2018), quienes analizaron la cuenca del río Coco y encontraron que la conversión de bosques a pastizales redujo la capacidad de retención hídrica del suelo en un 40%, aumentando la sedimentación en ríos.

En Jinotega, Martínez y Herrera (2020) identificaron que la fragmentación del paisaje por cultivos de café disminuyó la biodiversidad en un 30%, afectando especies endémicas como el *Plectrohyla dasypus* (rana arbórea).

Estudios realizados por López y Rivas (2018) en la cuenca del río Coco evidenciaron que la deforestación incrementó la escorrentía superficial en un 30%, disminuyendo significativamente la capacidad de infiltración y la recarga de acuíferos. Estos resultados coinciden con los hallazgos de Pérez Ortiz (2017), quien sostiene que la antropización de los suelos reduce su capacidad de retención hídrica, intensificando los procesos erosivos y degradando la estructura del suelo.

IV. MARCO DE REFERENCIA

3.1. Cambio en el uso del suelo y su impacto ambiental.

El cambio en el uso del suelo (CUS) se refiere a la transformación de la cobertura natural del territorio como consecuencia de actividades humanas, tales como la agricultura, la expansión urbana y la explotación forestal, o por eventos naturales como incendios o sequías prolongadas (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la agricultura, 2020). Este fenómeno representa una de las principales presiones sobre los ecosistemas a nivel global. Según la Plataforma Intergubernamental sobre Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos (Plataforma Intergubernamental Científico Normativa sobre diversidad Biológica y servicios de los ecosistemas, 2019), el 75% de la superficie terrestre ha sido modificada por el CUS, lo que ha provocado pérdida de biodiversidad, fragmentación de hábitats y alteraciones en los ciclos hidrológicos.

En Nicaragua, el cambio de uso del suelo ha sido particularmente marcado en las últimas décadas. Entre 1990 y 2020, el país perdió aproximadamente 1.2 millones de hectáreas de bosque, principalmente debido a la expansión de la frontera agrícola, el crecimiento de la

ganadería extensiva y la tala ilegal (Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales, 2021). En regiones como Jinotega, caracterizadas por terrenos montañosos con suelos de textura arcillosa, estas transformaciones han tenido efectos especialmente intensos sobre la dinámica hídrica y la estabilidad de los ecosistemas.

Además de sus impactos ecológicos e hidrológicos, el cambio en el uso del suelo contribuye directamente a la emisión de gases de efecto invernadero. La conversión de bosques a pastizales puede liberar hasta 100 toneladas de dióxido de carbono (CO₂) por hectárea, exacerbando el calentamiento global (IPCC, 2019). En el caso de Nicaragua, la deforestación representa aproximadamente el 25% de las emisiones nacionales de gases de efecto invernadero (MARENA, 2021).

En la subcuenca del río Viejo Jinotega, las principales transformaciones del uso del suelo están asociadas a la expansión de cultivos de café en zonas de pendiente y al establecimiento de sistemas de ganadería extensiva. De acuerdo con datos del Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER, 2021), cerca del 40% de las laderas con pendientes superiores al 30% han sido ocupadas por cultivos agrícolas. Esta situación incrementa significativamente la erosión del suelo y reduce su capacidad de infiltración en un 25% (López & Rivas, 2018).

Los efectos del CUS en la subcuenca generan impactos en cascada, entre los que destacan:

- **Pérdida de servicios ecosistémicos:** Los bosques naturales pueden captar y almacenar hasta 1,500 m³ de agua por hectárea al año, mientras que los pastizales apenas retienen cerca de 600 m³/ha (MARENA, 2019).
- **Alteración del microclima local:** La deforestación contribuye al incremento de la temperatura superficial en un rango de 2 a 3 °C, modificando los microclimas y afectando la productividad agrícola y la biodiversidad (Universidad Nacional Agraria, 2020).

3.2 Fragilidad del paisaje

El paisaje es utilizado por el ser humano y desde esta perspectiva es considerado como un recurso natural, altamente demandado, que se caracteriza por ser fácilmente despreciable y difícilmente renovable (Muñoz-Pedreros, 2004; Gómez, 2004). Asimismo, es considerado un

patrimonio ambiental que incluye valores culturales y naturales, un recurso que representa la fisonomía de un espacio y refleja la naturaleza y la historia.



Figura 1 Municipio de Jinotega

Las características físicas del paisaje pueden ser identificadas por sus atributos visuales, ya que el planeamiento, las decisiones de manejo, la interacción de la cultura y los procesos naturales llevan a cambios físicos que se verán en el futuro en el paisaje. Los paisajes escénicos son una de las mayores fuentes para el goce humano y en algunos casos han sido objeto de acción pública directa para conservar su calidad Solari, & Cazorla, (2009).

Además, la necesidad de contar con medios válidos para cuantificar los caracteres escénicos de los paisajes ha aumentado sustancialmente con el desarrollo de la planificación del uso de la tierra y sus requisitos de datos medioambientales en que basar las decisiones de uso de tierra. Se presenta una metodología para la valoración de la Calidad Visual y su Fragilidad, tanto de los paisajes rurales como de los urbanos, con el fin de disponer de una valoración del paisaje que permita ordenar de forma adecuada la implantación de determinados usos y actividades en un territorio Solari, F. A., & Cazorla, L. (2009).

3.3 Dinámica hídrica y regulación del agua.

La dinámica hídrica comprende los procesos por los cuales el agua circula y se transforma en los sistemas naturales como la precipitación, escorrentía, infiltración, almacenamiento superficial y subterráneo y el entorno al sistema atmosférico. Esta dinámica está profundamente influenciada por el clima, la geografía del terreno, la cobertura y usos del suelo y los sistemas de regulación como embalses y acuíferos. (Dingman.2015)

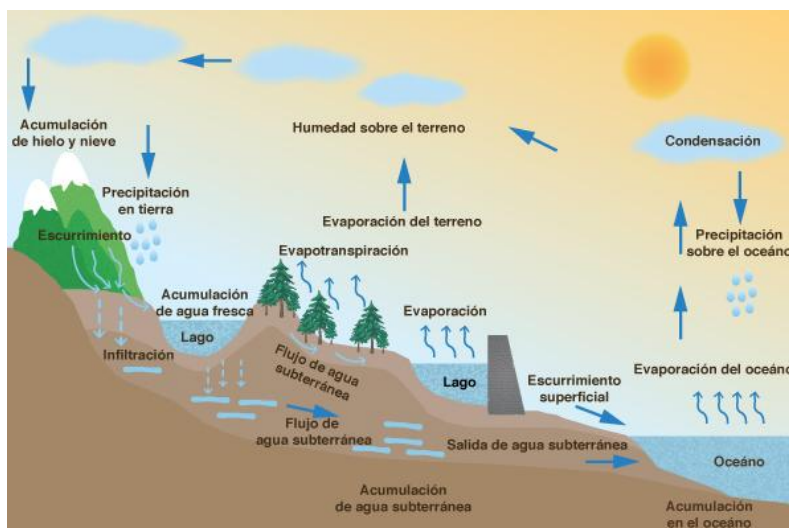


Figura 2 Proceso de la dinámica hídrica.

En el municipio de Jinotega, específicamente en el distrito 9 del municipio territorio, compuesto por diversas comunidades como Tomatoya, Las Lomas y Saraguasca, cuenta con fuentes de agua que incluyen principalmente agua potable, pozos comunitarios e individuales, así como captación de agua de lluvia. Según el estudio realizado por. (Martínez et al., 2018), el 49% de las familias obtienen agua potable como principal fuente, y la mayoría percibe que la calidad del agua es buena o muy buena.

La administración del agua está principalmente a cargo de los Comités de Agua Potable y Saneamiento (CAPS), quienes gestionan el acceso y distribución para las comunidades, favoreciendo el uso sostenible del recurso. Sin embargo, el manejo de aguas residuales presenta deficiencias significativas, pues gran parte de los desechos provenientes del lavado de equipos agrícolas y aguas grises se vierten sin tratamiento adecuado, lo que podría afectar la calidad del recurso y el medio ambiente local. (Martínez et al., 2018) Este diagnóstico basado en encuestas,

grupos focales y planes de finca aporta información valiosa para la gestión integrada del recurso hídrico en la subcuenca, resaltando la necesidad de fortalecer prácticas de manejo y tratamiento de aguas residuales para garantizar la sostenibilidad hídrica y la salud pública en el área (Martínez et al., 2018) Jinotega, el recurso hídrico es fundamental para el desarrollo comunitario y la seguridad alimentaria. Este

3.4. Modelos hidrológicos

Los modelos hidrológicos son representaciones matemáticas de cómo el agua se mueve y se distribuye en una cuenca. Son herramientas clave para entender y predecir el ciclo del agua, ayudando en la gestión de recursos hídricos (Chhow et al. 1988). Hidrología Aplicada. McGraw-Hill. Estos modelos simulan la transformación de la lluvia en escorrentía, infiltración y evaporación, entre otros procesos (Maidment, 1993). Su aplicación es vital para la predicción de inundaciones, el manejo de sequías, el diseño de infraestructuras hidráulicas y la evaluación del impacto del cambio climático (Loucks & van Beek, 2017).

Un modelo es la reproducción a escala de un sistema, concepción mental, relación empírica o serie de ecuaciones matemáticas y estadísticas que representan un sistema. Aunque los modelos son representaciones imperfectas, son herramientas valiosas que permiten estudiar una gama de condiciones y formular respuestas que no se pueden obtener de forma práctica, ya sea midiendo y observando el sistema real.

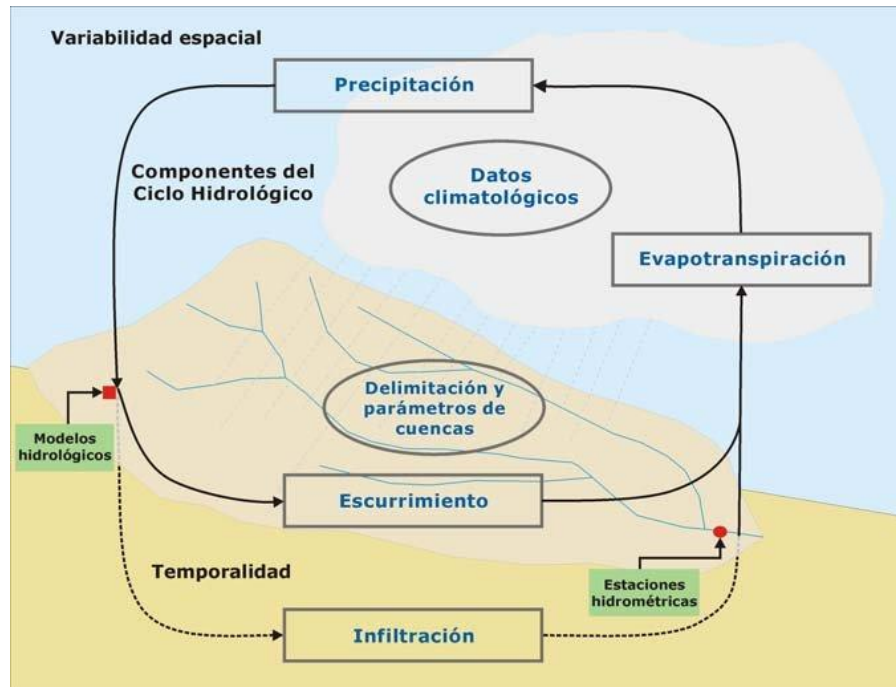


Figura 3 Esquema del modelo conceptual general del módulo hidroneumático

La modelización o modelación hidrológica consiste en la representación y simulación de los procesos de precipitación y escurrimiento por medio de distintos tipos de modelos y grados de complejidad con la finalidad de representar el flujo existente o futuro de una cuenca. Como resultado de la modelación se puede obtener un mejor conocimiento de los procesos que influyen en la relación precipitación escurrimiento, se pueden aumentar la información de una cuenca de estudio, obteniendo, ya sea en el espacio, puntos no aforados, o bien en el tiempo, a través del completado de datos. Se puede utilizar como método de prevención de desastres, por medio de la predicción de caudales y escenarios futuros, entre otros.

3.4.1. Clasificación de los modelos hidrológicos

Existen tres características básicas y útiles para la clasificación de los modelos hidrológicos, de acuerdo con la conceptualización de los procesos, pueden clasificarse en empíricos, conceptuales y teóricos, de acuerdo con la naturaleza de los algoritmos básicos, pueden ser determinísticos y estocásticos y de acuerdo con su representación espacial; pueden ser agrupados, distribuidos y semi distribuidos.

3.4.2. Estudios relacionados al cambio de usos de la tierra

En contraste, en la cuenca del río La Villa (Panamá), Valdés et al. (2020) evidenciaron que la agroforestería aumentó la infiltración en un 18%, destacando la importancia de prácticas

agrícolas sostenibles. Estos ejemplos subrayan la necesidad de adaptar estrategias exitosas a las condiciones socio ecológicas de Jinotega, buscando brechas que ayuden en el mejoramiento y conservación de la estructura del suelo.

A nivel regional, en la cuenca del río Sixaola (Costa Rica-Nicaragua), Quesada-Román *et al.* (2022) demostraron que la implementación de cercas vivas y terrazas redujo la erosión en un 20%, mejorando la calidad del paisaje. Estos enfoques podrían replicarse en la subcuenca del río Viejo donde serían oportunidades de mejoras, donde el 60% de los suelos son clasificados como "altamente erosionables" , esto debido a las pendientes predominantes en la zona y los aumentos de las diferentes actividades antrópicas (INETER, 2021).

3.4.4. Casos en Nicaragua

- Ruiz, save y herrera. (2013). realizó el análisis multitemporal del cambio de uso del suelo, en el Paisaje Terrestre Protegido Miraflores Moropotente Nicaragua, 1993 – 2011, donde el estudio se enfocó en el análisis de cambio del uso de suelo utilizando herramientas como imágenes satelitales Landsat TM, donde se seleccionaron áreas representativas de cada cobertura de suelo para obtener su valor espectral, la determinación del tipo de cobertura vegetal del área, se basó en la clasificación de uso de suelo del Ministerio Agropecuario y Forestal (Nicaragua 2010).

Los resultados del estudio fueron que en el primer período (1993- 2000) el bosque latifoliado denso refleja un ligero incremento, sin embargo, para el siguiente período (2000-2011) disminuye. El bosque mixto (pino y roble) en ambos períodos ha sufrido una disminución. El bosque latifoliado ralo en el primer período evaluado ha disminuido, sin embargo, aumenta para el siguiente período. Todo esto se refleja en los tres mapas generados. La superficie dedicada a pastos con árboles dispersos aumenta en el primer período y en el siguiente experimenta una disminución. Los pastos disminuyen en ambos períodos, sin embargo, los tucotales y áreas de cultivos aumentan.

- Según el estudio realizado en el sudeste de Nicaragua sobre el cambio en el uso del suelo desde 1983 hasta 1992, el estudio fue elaborado mediante los sistemas de información geográfica y la teledetección con imágenes satelitales de Landsat-5.

- Los resultados obtenidos en el estudio en el sudeste de nicaragua se estimó una pérdida de 126.1 km² de vegetación herbácea de pantanos, los pastos tuvieron un aumento de 493.9 km², los bosques latifoliado-densos tuvieron una pérdida de 2211.9 km², los bosques latifoliados ralos tuvieron un aumento de área de 2018.7 km². el uso de Yolillo (palma) la pérdida fue de 181.8 km², los cocoteros la pérdida fue de 3.2 km², el uso para el cultivo del arroz bajo su extensión con una pérdida de 17 km², (Pujol, et al. 1999).

3.4.5. Experiencias regionales

El estudio de los cambios en la cobertura de suelo y cuantificación de carbono almacenado en los diferentes usos de tierra como lineamientos en el desarrollo de estrategias de mitigación ante el cambio climático en la zona de amortiguamiento de la reserva biosfera río plátano, Honduras, donde se determinó el promedio de carbono almacenado en los diferentes sistemas de uso de suelo, donde la mayor cantidad es en el bosque primario con 168.00 TonC/ha, el bosque secundario almaceno 29.71tonC/ha, el bosque de pino almacenar 43.49 tonC/ha.

En la evaluación del CUS, el bosque latifoliado perdió del 2006 a 2011 77,697.27 ha y el bosque de pino 75125.03 ha, estos convirtiéndose en uso de agricultura intensiva como cultivos anuales y sabanas. Lazo A. (2014).

El estudio Realizado en México, en la zona mexicana de transición de montaña en el cambio de cobertura y uso de suelo, se evaluó mapas del año 1989 y 2009 por medio de clasificación supervisada con imágenes satelitales, donde se obtuvieron resultados, donde en 20 años se ve la tasa de decremento de (-0.56 %) de pérdidas de bosques, y al (0.75%) de otras coberturas, donde se reflejó el aumento de uso agrícola de (0.97 %) Este comportamiento puede atribuirse al crecimiento o expansión de la frontera agrícola y al establecimiento de nuevos espacios destinados a la práctica de actividades relacionadas con el sector pecuario, en terrenos con vocación forestal. (Sanabrial, et al 2015)

3.5. Vacíos de investigación

- Falta de estudios que integren calidad del paisaje y modelos hidrológicos en cuencas nicaragüenses.

- Escasa cuantificación de servicios ecosistémicos hídricos en zonas montañosas como Jinotega.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Ubicación del estudio

El estudio se llevó a cabo en el municipio de Jinotega, ubicada en el departamento de Jinotega, Nicaragua. Geográficamente, se localiza entre las coordenadas 13°02'28" y 13°09'25" de latitud norte, y 85°57'57" y 86°01'08" de longitud oeste, abarcando una extensión aproximada de **40.7 km²**. Sus límites son: al norte, Santa maría de pantasma: al sur, Municipio de la dalia; al este, Municipio del Tuma la Dalia y al oeste, San Rafael del Norte. La **Figura 4** ilustra la ubicación del municipio de Jinotega.

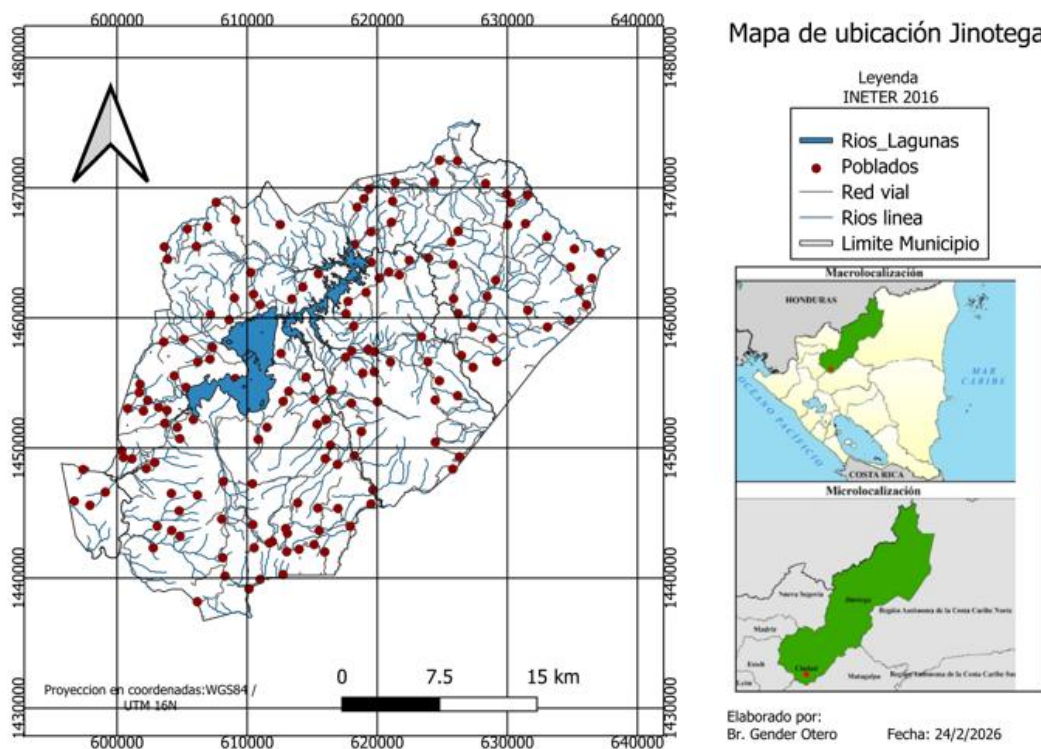


Figura 4 Mapa de ubicación del municipio de Jinotega.

4.1.2. Descripción climática

Jinotega se conoce por ser un municipio con bastante humedad relativa esto debido a la altura que se encuentra, donde está por encima de los 700 metros sobre el nivel del mar según datos climáticos del INETER, por ende, es un municipio con temperaturas bajas, donde su temperatura promedio mínima según estación meteorológica es de 18 °C, no obstante mencionar que en fechas como enero a diciembre se reportan temperaturas de hasta 13 °C, las temperaturas altas promedio son de 27 °C esta mayor mente en los meses de febrero abril.

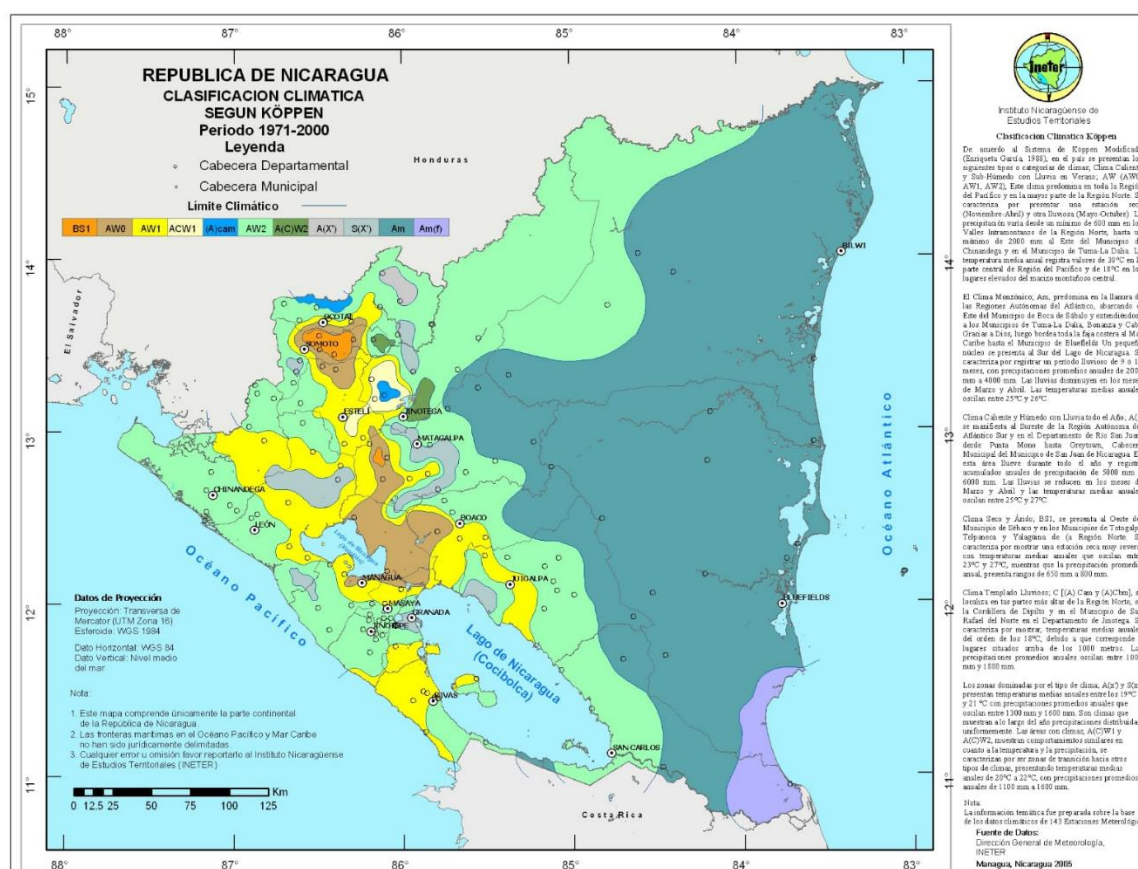


Figura 5 clasificación de Köppen

Las precipitaciones en el municipio predominan entre 1000 en años neutros pudiendo llegar a los 2000 mm anuales en años niñas, es un municipio con altas precipitaciones debido a su altura sobre el nivel del mar, esto porque entre más altura menos presión atmosférica y, por ende, los vientos entran con mayor velocidad teniendo contacto con el estado directo con el estado de condensación en la atmósfera y alterando el proceso de precipitación.

4.1.3. Descripción de suelos

Según Hernández, y Herrera (1997), los suelos que predominan en la subcuenca son; vertisoles los cuales son de textura arcillosos que se agrietan en verano y se encharcan en invierno, ubicados mayormente en las planicies del municipio. Inceptisoles, suelos con evaluación baja con horizontes genéticos y con fertilidad variable, moderadamente profundo predominante en pendientes de 5% a 30%. Alfisoles suelos minerales con horizontes de iluminación de arcilla y fertilidad media moderadamente profundos ubicados en pendientes de 15 % a 35 %. Entisoles suelos minerales con horizontes piogénicos de muy baja evolución ubicados en pendientes mayores a 30 %.

4.1.4. Cobertura y usos del suelo.

los suelos del municipio de Jinotega están cubierto mayormente por las diferentes actividades antrópicas, en las zonas bajas está el pueblo (urbanización), donde se puede apreciar el aumento hacia las zonas más altas, en las pendientes de 10% hasta 30 % lo que predomina son las actividades agrícolas, donde están los cultivos anuales y perennes, asociados de cultivos perennes como el café con especies forestales, en las pendientes mayores al 30 % la cobertura son bosques latifoliados y pinos abiertos y en su mayoría cerrados, según datos levantados en campo, en algunos puntos sistemas agroforestales.

4.1.5. Uso potencial de la tierra

El uso potencial de los suelos en el municipio de Jinotega es para la agricultura intensiva en especial para el cultivo de café con asoció forestal, por otra parte, los cultivos como hortalizas, tubérculos como la malanga que necesita bastante humedad, la conservación de los bosques latifoliados y la expansión de estos es potencial en la zona ya que estos mantienen el microclima que hace especial de este.

4.2. Enfoque y diseño metodológico

El presente estudio empleó un enfoque mixto, combinado con análisis de datos geoespaciales, y la etapa de levantamiento de datos de campo. Se adoptó un diseño no experimental, descriptivo y transversal, fundamentado en la recopilación, procesamiento ya análisis de datos para evaluar el impacto del cambio de usos del suelo, la fragilidad del paisaje y la valoración en la dinámica hídrica en la subcuenca del río Jinotega.

4.3. Manejo del ensayo y metodológicas

La metodología se estructuró en tres fases de trabajo, las cuales están diseñadas para lograr los objetivos específicos planteados para esta investigación:

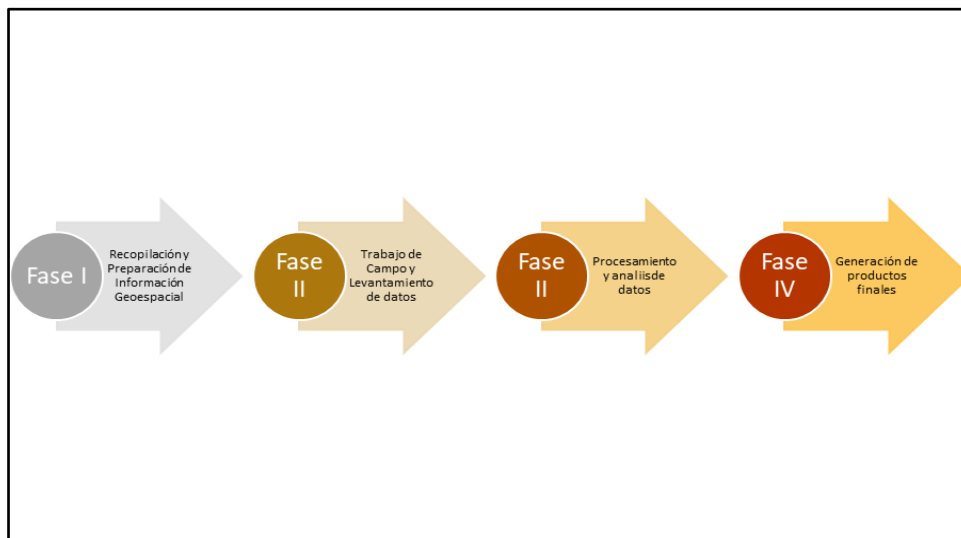


Figura 6 Modelo conceptual General.

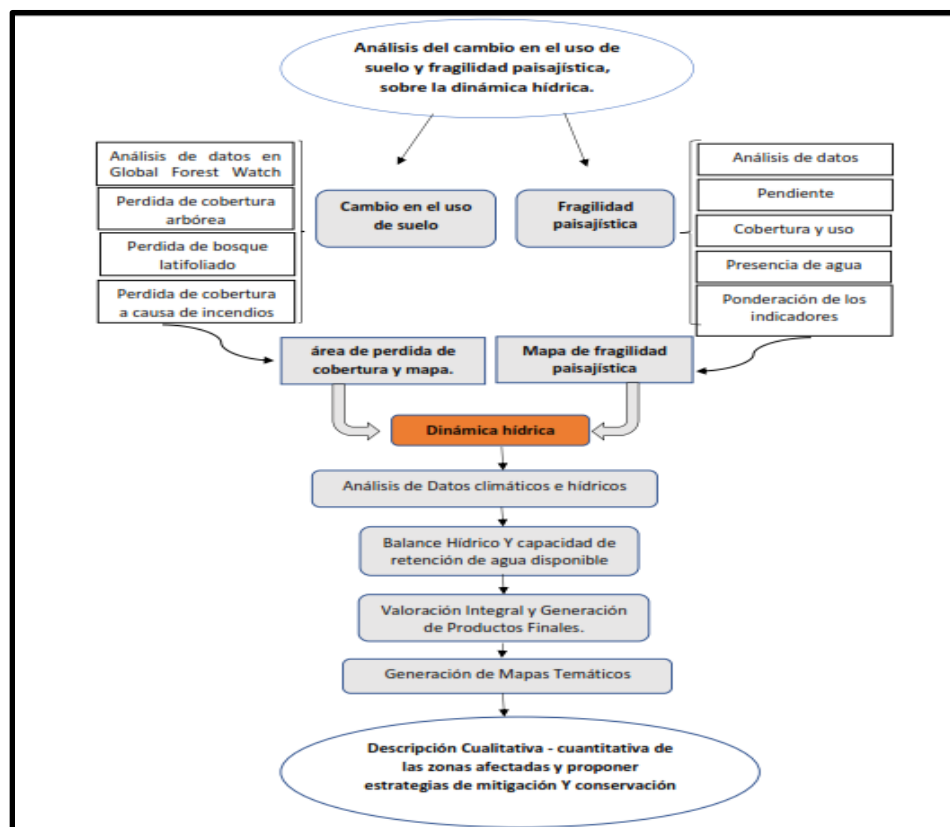


Figura 7 Flujograma General del Estudio.

4.3.1. Recopilación y preparación de información geoespacial

Esta fase inicial se centró en la obtención y organización de datos de estudios relevantes. Se realizó una revisión bibliográfica exhaustiva sobre metodologías de análisis de cambio de usos del suelo, evaluación de la fragilidad paisajística y modelación hidrológica. También se recopiló información de geoespacial y climatológica de diversas fuentes oficiales y plataformas especializadas:

- Imágenes Satelitales: Se analizaron series temporales para el periodo 2,000 al 2023, obtenidas principalmente de la plataforma *Global Forest Watch* (WFG), para el análisis de los cambios de cobertura y la permanencia de bosque.
- Cartografía base: Mapas topográficos, red hídrica, caminos, cuerpos de agua, tipos de suelos y límite de la subcuenca.

4.3.2. Trabajo de campo y levantamiento de datos

El trabajo de campo se llevó a cabo con datos recolectados de las diferentes plataformas desde el año 2000 al 2023, El objetivo fue validar la información de gabinete y recolectar datos *in situ*.

- Puntos de Observación: Se realizaron recorridos estratégicos del municipio, priorizando zonas representativas de las partes altas. Se establecieron dos puntos de muestreo estratificado, seleccionados por su topografía y accesibilidad.
- Recolección de datos *In Situ*: En cada punto en las coordenadas: punto 1. E 609545 N 1447396, punto 2: E 607227 N 1447593, se utilizaron binoculares para la observación detallada de fragmentos ambientales y se tomaron fotografías georreferenciadas para documentar características físicas y alteraciones. Los parámetros validados en campo incluyeron: tipo y uso del suelo, diversidad de vegetación, presencia de cuerpos de agua, pendiente, grado de urbanización, zonas potenciales para infiltración y evidencia de conflictos de uso del suelo.

4.4. Procesamiento y análisis de datos

En esta etapa de gabinete, los datos recopilados fueron procesados y analizados con la finalidad de producir resultados sobre el comportamiento de los componentes evaluados.

4.4.1. Análisis espacio temporal del cambio de uso del suelo (CUS)

El objetivo fue determinar patrones y tendencias del cambio de usos de suelos durante un periodo mayor a 10 años en el municipio de Jinotega, este análisis nos permitió tener una clasificación de los diferentes usos del suelo, donde se cuantifican las variables como pérdida de cobertura arbórea referente al bosque latifoliado y estratos de menor tamaño, y también la pérdida de bosque por incendios forestales. Estas matrices de transición entre los diferentes periodos en análisis nos permitieron estimar los cambios de superficie entre las diferentes clases de cobertura y usos del suelo.

4.4.2. Evaluación de la fragilidad paisajística.

La evaluación de la fragilidad paisajística correspondiente al objetivo 2 se realizó mediante un análisis multicriterio usando los Sistemas de Información Geográfica (SIG), este proceso consiste en la asignación de valores y pesos ponderados a las variables ambientales derivadas de la información geoespacial y validación de campo. Los criterios de clasificación y ponderación fueron los siguientes:

Tabla 1. Evaluación de la fragilidad paisajística

Indicador	Clase /Rango	Valor asignado	Peso ponderado
Pendiente	0% - 15% (Baja Fragilidad)	1	0.20 %
	15% - 30% (Media Frag.)	2	
	> 30% (Alta Fragilidad)	3	
Vegetación y uso de suelo	Bosques cerrados pinos y latifoliados (Baja Fragilidad)	1	0.35%
	Bosques abiertos de pino y latifoliado, Cultivos perennes en asocio, agroforestal (Fragilidad Media)	1	
	Tacotales, Cultivos anuales, pasto, vegetación arbustiva (Fragilidad Alta)	3	
	Centros poblados (Degradación).	4	
Presencia de agua	Ausencia (Baja Fragilidad)	1	0.15 %
	Presencia (Alta Fragilidad)	2	
Densidad de Carreteras	< 500 m (Mayor Fragilidad)	1	0.20 %
	500-1000 m (Fragilidad Media)	2	
	> 1000 (Fragilidad Alta)	3	
Puntos de incendios	Presencia	1	10%
	Ausencia	2	

La variable **pendiente** se le asignó un peso ponderado de 0.20 %, debido que en el paisaje es uno de los indicadores que pueden alterar el transcurso de algunos factores como lo es la dinámica hídrica, usos del suelo, 'por otra parte la pendiente es indispensable en la preservación de los paisajes.

Los valores asignados a las variables a evaluar se ponderaron en porcentajes diferentes, dónde cobertura y uso es el que tiene más peso con 0.35% esto debido que es una variable diversificada con Factores que pueden alterar como lo es la presencia de cobertura arbórea, esto tiene un impacto positivo en la recarga hídrica, evitar erosión en los suelos, ayuda en los corredores ecológico para el hábitat de la fauna, al encontrar suelos descubiertos se espera todo lo contrario (impactos negativos).

Presencia de agua, se le asignó un peso ponderado de 0.15 siendo el más bajo en la evaluación debido a que en la subcuenca solo hay una fuente de agua superficial, esto por la topografía del terreno, donde no se puede formar otros tipos de fuente superficiales que puedan ser un factor de análisis y evaluación.

Densidad de Carreteras, el peso ponderado que se le asignó a esta variable fue de 0.20 es la segunda con mayor peso, esto debido que se está evaluando conforme a las distancias de las carreteras a los extractos de paisaje, entre más cerca esté una carretera de un extracto de la subcuenca que no esté urbanizado es más sustentable a la alteración y entre más lejos esté de una carretera baja la vulnerabilidad y, por ende, la fragilidad es baja.

Puntos de Incendio: el peso ponderado que se le asignó a esta variable es de 0.10 % esto porque Jinotega es un municipio donde la humedad relativa es alta por la presión atmosférica del sitio, por ende, el incendio tiende a ser pocos probables de incidencia

4.4.3. Balance Hidrológico y Capacidad de Retención de Agua disponible

Para analizar la dinámica hídrica y cumplir con el objetivo 3 y comprender su respuesta ante los cambios de usos del suelo, se realizará un balance hídrico simplificado a nivel del municipio, con un enfoque particular en la capacidad de retención de agua disponible en el suelo (CRAD).

Las variables de entradas al modelo serán la precipitación mensual, la temperatura y la Evapotranspiración potencial. Siguiendo este análisis climático se estimará la CRAD a partir de los tipos de suelo y sus propiedades texturales (Hernández *et al.*, 1997). Esta variable relaciona las características del suelo con su capacidad de almacenar agua para las plantas.

Se aplicará el modelo conceptual de balance hídrico propuesto por Thornthwaite y Mather (1955) de forma mensual para la subcuenca. Este modelo considera la precipitación (P), la evapotranspiración potencial (ETP), el almacenamiento de agua en el suelo (limitado por la CRAD) y la esorrentía. Los pasos clave incluyen:

1. Cálculo de la **Evapotranspiración Potencial (ETP)** ajustada por duración del día.
2. Determinación de la **Precipitación Efectiva**, la cual se acumula en el suelo hasta alcanzar la CRAD.
3. Cálculo de la **Evapotranspiración Real (ETR)**, que depende de la ETP y el agua disponible en el suelo.
4. Estimación del **Excedente Hídrico (Q)** (esorrentía), que se genera cuando el contenido de agua en el suelo supera la CRAD.
5. Cálculo del **Déficit Hídrico**, que ocurre cuando la ETP excede la precipitación y el agua almacenada en el suelo. Este cálculo permitirá determinar la cantidad de agua que se infiltra, la que se evapotranspira y la que se convierte en esorrentía para diferentes escenarios de uso del suelo.

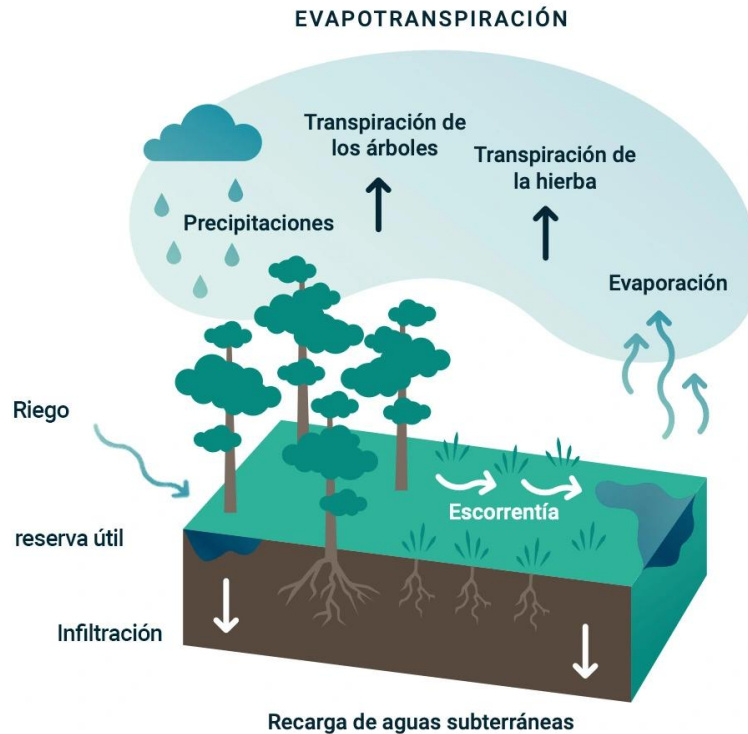


Figura 8 Esquema del balance hídrico.

4.5. Valoración Integral y Generación de Productos Finales

En la fase final, se consolidaron los resultados de los análisis de CUS, fragilidad paisajística y dinámica hídrica. Se realizó una **evaluación conjunta** de los impactos para:

- **Se generarán mapas temáticos**, detallados que representan la transformación del suelo, para los diferentes usos antrópicos, incluyendo datos de CRAD y de los componentes del balance hídrico.
- **Se realizará una descripción cualitativa y cuantitativamente** de los suelos afectados en los años proyectados.
- **Proponer estrategias de mitigación y conservación** y puntos de mejora para las variables evaluadas, buscando la sostenibilidad ambiental del municipio de Jinotega.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Cambio del uso de suelo del municipio de Jinotega (2001–2023)

El análisis multitemporal del uso de suelo, basado en imágenes satelitales y procesamiento geoespacial en Google Earth Forest, permitió evidenciar transformaciones importantes en la cobertura vegetal del municipio de Jinotega durante el periodo 2001–2023. Según los datos procesados, se registró una pérdida acumulada de aproximadamente 9,531 hectáreas de cobertura arbórea, lo que representa una disminución del 20.6% de cobertura arbórea donde había 46,240 ha, que representaba el 85 % del total del municipio (aproximadamente 54,400 ha, se **observa en la figura número 9**, respecto al año 2000. Esta pérdida afecta principalmente a bosques latifoliados primarios, ubicados en pendientes medias y altas.

En términos espaciales, la deforestación se concentra en zonas agrícolas y áreas de transición hacia usos urbanos, particularmente en los alrededores del centro del municipio. La presión sobre los recursos forestales ha sido continua, aunque se registró un pico de pérdida en el año 2023 con 244 ha, lo que coincide con la expansión urbana y el avance de cultivos anuales hacia zonas de pendiente.

Además, se identificó que 446 ha de cobertura arbórea se perdieron a causa de incendios forestales entre 2001 y 2023, siendo el año 2016 el más crítico con 94 ha afectadas. El resto de la pérdida está vinculada a actividades antrópicas, especialmente el cambio de cobertura forestal por cultivos, pastizales y urbanización.

Esta transformación del paisaje afecta no solo la biodiversidad y los servicios ecosistémicos, sino también la capacidad de regulación hídrica, ya que los suelos desprovistos de cobertura vegetal incrementan la escorrentía y reduce la infiltración.

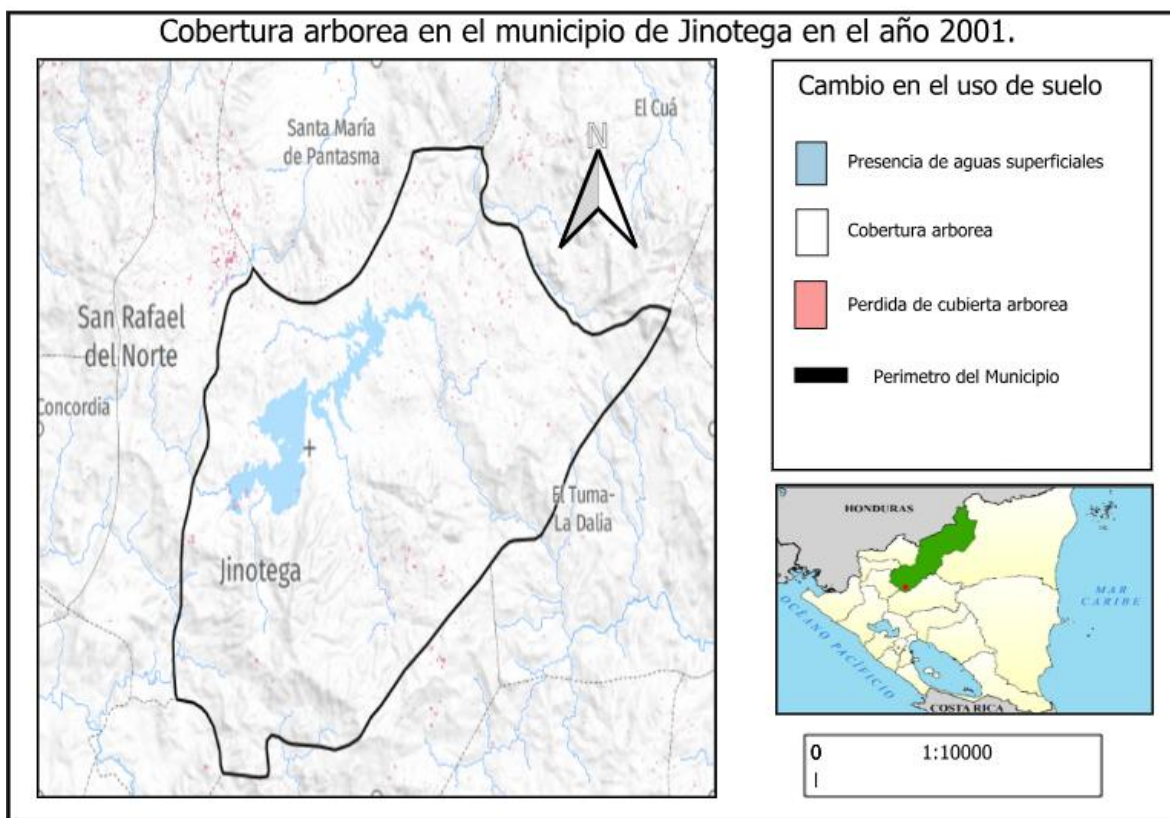


Figura 9 Mapa de Pérdida de cobertura arbórea del 2001.

El mapa evidencia la distribución inicial de la cobertura arbórea en el año 2001, mostrando una extensión significativa de bosques latifoliados y mixtos, especialmente en zonas de pendientes medias y alta, donde no están en contacto directo con las actividades antrópicas.

La cobertura arbórea inicial representaba aproximadamente el 85% de la extensión total del municipio (46,240 ha), lo que refleja un paisaje predominantemente forestal al inicio del período de estudio. 3

5.1.1. Pérdida de bosque latifoliado desde el año 2001 hasta el 2023

La figura número 10, representa la evolución temporal de la pérdida de bosque latifoliado del municipio de Jinotega, desagregada por año, desde el 2001 hasta el 2023. Durante el período analizado, se ha registrado una pérdida acumulada de 829 hectáreas de bosque latifoliado, lo que representa el 8.6% del total de cobertura original de este tipo de bosque del municipio. Este tipo de vegetación es crucial para la regulación hídrica, la estabilidad de los suelos y el equilibrio del paisaje, por lo que su degradación tiene implicaciones ecológicas directas.

Entre los años 2001 y 2009, la tasa de deforestación fue relativamente baja, manteniéndose por debajo de las 20 ha anuales. A partir del 2010, se observa un aumento sostenido en la tasa de pérdida de bosque, alcanzando un máximo histórico en el año 2023 con una pérdida de 244 ha en un solo año. Este aumento puede estar vinculado al avance de actividades agropecuarias no reguladas, al incremento de la presión sobre la tierra por crecimiento poblacional y a eventos climáticos extremos que exacerban la vulnerabilidad del bosque.

Cabe destacar que la pérdida de bosque en pendientes medias y altas no solo implica la remoción de cobertura vegetal, sino también el debilitamiento de los servicios ecosistémicos que el bosque latifoliado provee: infiltración de agua, protección contra la erosión y regulación micro climática.

- **Resultado:** Se registró una pérdida acumulada de **829 ha** de bosque latifoliado entre 2001 y 2023, con un pico máximo en 2023 (244 ha). La tasa de deforestación se incrementó notablemente a partir de 2010, asociada a la expansión agropecuaria y el aumento de zonas urbanizadas. Esta pérdida afecta directamente la regulación hídrica y la estabilidad de suelos en laderas.

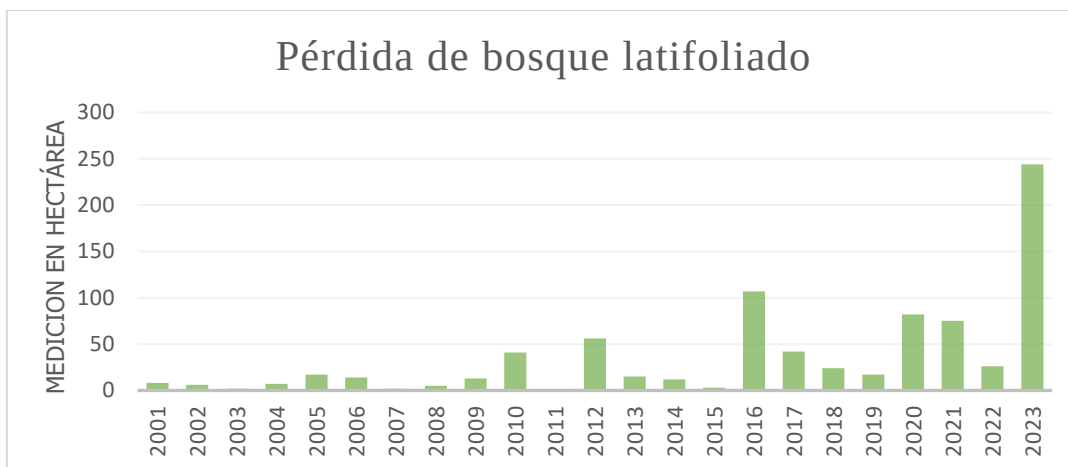


Figura 10 Pérdida de bosques latifoliados

5.1.2. Pérdida de cobertura arbórea en Jinotega, Jinotega, Nicaragua

La figura # 11, presenta el cambio total en la cobertura arbórea del municipio de Jinotega durante el período 2001–2023. La categoría de cobertura arbórea incluye tanto bosques naturales (latifoliados y de pino) como otras coberturas arbóreas (agroforestales, sistemas mixtos y vegetación secundaria), diferenciándose de las áreas urbanas, agrícolas, pastizales y suelos desnudos.

- **Resultado:** La pérdida total de cobertura arbórea fue de 9,531 ha, equivalente a una reducción del 20.6% respecto al año 2000.
- **Análisis:** Esta disminución está vinculada a la expansión agrícola, crecimiento urbano no planificado, sustitución de sistemas agroforestales por monocultivos y los incendios forestales en el municipio.

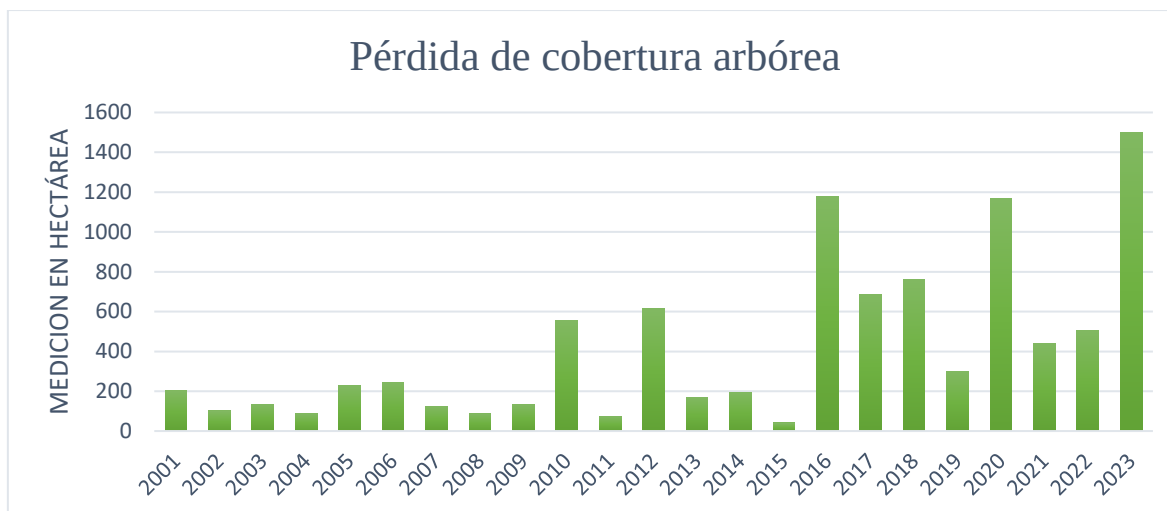


Figura 11 Pérdida de cobertura arbórea.

Durante este período, Jinotega ha perdido un total de 9,531 hectáreas de cobertura arbórea, lo que representa una reducción del 20.6% con respecto al año 2000 que había 46240 ha. Esta cifra incluye tanto pérdida de bosques primarios como la conversión de áreas boscosas mixtas y sistemas agroforestales hacia usos no forestales. La disminución progresiva en la cobertura vegetal ha sido impulsada principalmente por:

La expansión de la frontera agrícola, con cultivos anuales como maíz y frijol según Martínez y Herrera (2020) en zonas de ladera, ha generado el avance de la urbanización desordenada en el centro del poblado, la sustitución de sistemas agroforestales por monocultivos y pastizales y los efectos de incendios forestales en épocas secas.

En el año 2000, se estimaba que el 85% de la superficie municipal estaba cubierta por vegetación arbórea con una densidad de copas superior al 30%. Para 2020, esta cifra disminuyó drásticamente, un 20.6 %

Esta pérdida general de cobertura vegetal tiene un impacto directo sobre el ciclo hidrológico local, disminuyendo la capacidad del suelo para infiltrar agua, aumentando el escurrimiento superficial y acelerando procesos de erosión en zonas de pendiente. Además, se estima que esta pérdida ha contribuido con al menos 5.03 millones de toneladas métricas de CO₂ a la atmósfera, lo que convierte a Jinotega en un área clave para estrategias de mitigación climática a nivel nacional.

El resultado evidencia una tendencia alarmante de degradación territorial que amenaza la sostenibilidad ambiental de la subcuenca. Se requiere una combinación de medidas de ordenamiento territorial, reforestación activa y conservación de bosques remanentes, especialmente en zonas con alto valor hidrológico o ecológico.

5.1.4. Clases de cobertura de suelo 2020-2023.

La figura número 12. Representa la clasificación actualizada de los usos del suelo y las coberturas del territorio en Jinotega para el periodo 2020–2023. Utilizando información satelital procesada en SIG, se identificaron las siguientes clases principales: bosques naturales, pastizales, zonas urbanizadas, humedales, tierras de cultivo y aguas superficiales. El análisis se enfoca en el porcentaje de superficie ocupada por cada tipo de cobertura y su distribución espacial dentro del municipio.

- En el año 2023 se observa una considerable fragmentación de la cobertura arbórea, especialmente en el centro y sur del municipio, esto confirma la intensificación del uso antrópico del suelo, con mayor afectación en áreas cercanas al centro urbano y en laderas con pendientes entre 15% y 30%.

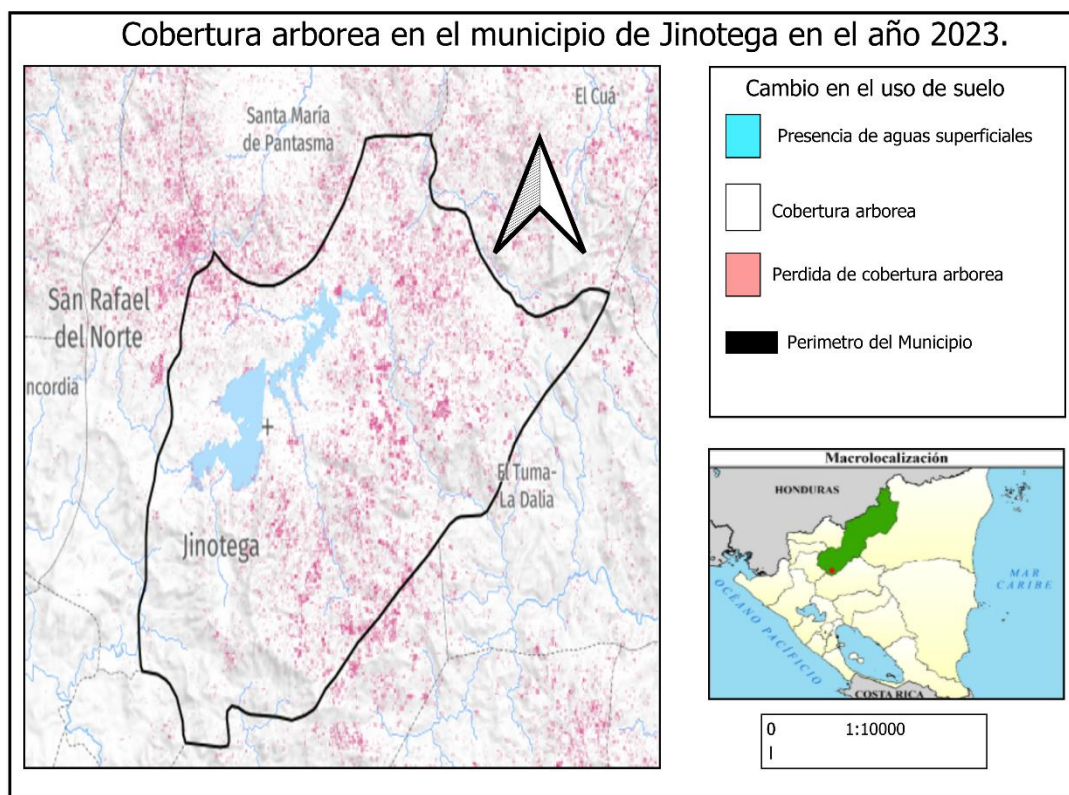


Figura 12 Cubierta arbórea del año 2023.

Para el periodo 2020–2023, se la pérdida de la cobertura arbórea en aumento, en comparación al año 2000, donde de las 9531 ha de pérdidas de cobertura. Este patrón actual de ocupación del suelo confirma la intensificación del uso antrópico del territorio, reduciendo no solo la superficie forestal continua, sino también la conectividad ecológica. Las zonas de mayor intervención se concentran en el centro urbano y sus alrededores, mientras que los bosques más densos y mejor conservados permanecen en las zonas altas con pendientes superiores al 30%.

El mapa evidencia un proceso de fragmentación del paisaje, acompañado de una disminución paulatina de los ecosistemas forestales y humedales.

5.1.5. Pérdida de cobertura arbórea a causa de los incendios

Esta figura 13 se muestra la evolución de la pérdida de cobertura arbórea provocada por incendios forestales en el municipio de Jinotega entre los años 2001 y 2023. El gráfico permite observar la cantidad de hectáreas afectadas por año y su contribución relativa al total de pérdida forestal durante el período de estudio

La pérdida por incendio fue de 446 ha, representando el **4.7%** de la pérdida total de cobertura arbórea, en el año 2016 fue el más crítico (94 ha). Los incendios se concentran en zonas de interfaz agroforestal y están asociados a prácticas agrícolas de roza y quema.



Figura 13 Pérdida de cobertura arbórea por incendios.

Durante los 23 años analizados, se registró una pérdida total de 446 hectáreas de cobertura arbórea a causa de incendios, lo que representa aproximadamente un 4.7% del total de pérdida de cobertura arbórea en el municipio (9,531 ha). Aunque este porcentaje puede parecer menor en términos absolutos, su impacto ecológico es significativo, ya que los incendios tienden a concentrarse en áreas de alta pendiente o en zonas de interfaz agroforestal, donde el proceso de regeneración natural es más lento.

El año más crítico fue 2016, en el que se perdieron 94 hectáreas en un solo evento o serie de eventos, lo que representó más del 20% de la pérdida total atribuida a incendios. Otros años muestran afectaciones menores, con variaciones que oscilan entre 5 y 25 ha por año. El patrón sugiere una ocurrencia esporádica pero intensa, con eventos de fuego de alta severidad que a zonas específicas.

Los incendios afectan tanto a bosques primarios como secundarios, y su origen está vinculado en muchos casos al cambio de uso de suelo, a la agricultura intensiva con malas prácticas agrícolas que afecta el suelo, estos efectos fueron representado en la proyección de las imágenes

en los años evaluados, los datos recolectados del incendio, verifica que entre más aumenta la agricultura los puntos de incendio incrementan.

Además del daño directo a la cobertura vegetal, los incendios afectan la estructura del suelo, reducen la materia orgánica, incrementa la erosión y limitan la capacidad de infiltración, lo que tiene consecuencias negativas para la dinámica hídrica de la subcuenta.

5.2. Fragilidad paisajística

La **fragilidad alta** del municipio de Jinotega se encuentra, en las zonas de conservación que están susceptible por las diferentes actividades antrópicas, tanto para el desarrollo económico como la agricultura, desarrollo vial y lotificaciones que pueden alterar las zonas con coberturas boscosas que su calidad paisajística es alta.

La **fragilidad media** del municipio de Jinotega, la encontramos en las pendientes de 15-30% donde estas en su mayoría no hay alta densidad de vías y los núcleos urbano es moderado, no hay presencia de agua superficial que pueda ser alterada negativamente, se encuentran suelos descubiertos por los monocultivos y cultivos perennes, en su mayoría está siendo usado para la agricultura intensiva, encontrándose sistemas agroforestales, asocio de café con especies forestales y bosques latifoliados abiertos, esto contribuye a no dejar descubierta en su totalidad el suelo, por ende, hay hábitat de especies de fauna y flora que en su totalidad no han sido afectados.

La **fragilidad baja** del municipio de Jinotega se representa en las zonas donde el paisaje fue deteriorado en su totalidad como las zonas pobladas y fuentes de aguas contaminadas, y los puntos donde la deforestación no ha intervenido.

5.2.2. Fragilidad paisajística del año 2000:

En el año 2000, el aumento de la fragilidad paisajística, en las zonas norte, sur. Sur-este está aumentando los puntos de fragilidad muy altas, el aumento de la agricultura intensiva genera fragilidad alta por la vulnerabilidad de los suelos descubiertos.

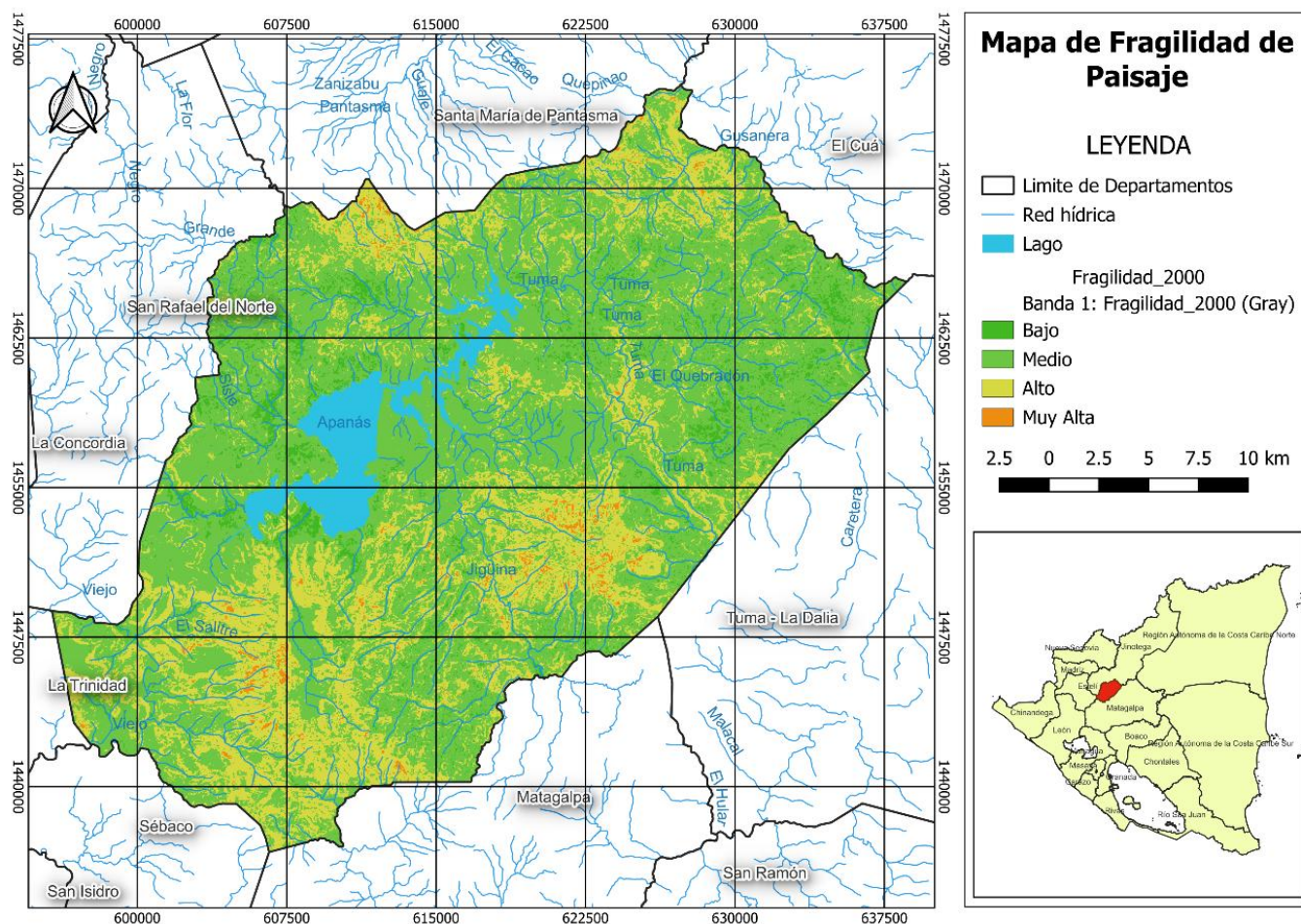


Figura 14 Mapa de fragilidad del paisaje año 2000

Se refleja que el CUS, genero un impacto significativo, se determina que los niveles de urbanización van aumentando, proporcionando un impacto negativo al ambiente, este genera vulnerabilidad en el paisaje a ser afectado (deteriorado) por las actividades antrópicas.

Para el año 2000, se observa un aumento notable en las áreas clasificadas con fragilidad alta y muy alta, especialmente en las zonas norte, sur y sureste del municipio. Este incremento coincide con la expansión de la agricultura intensiva y el crecimiento de los centros poblados, lo que generó una mayor presión sobre los ecosistemas naturales. La sustitución de bosques por cultivos anuales y pastizales incrementó la exposición del suelo a procesos erosivos y redujo la capacidad de infiltración hídrica. Además, la construcción de nuevas vías de acceso facilitó la penetración humana en áreas previamente conservadas, aumentando su vulnerabilidad. Estos cambios reflejan una transición hacia un paisaje más fragmentado y menos resiliente, donde la intervención humana comienza a superar la capacidad de carga del territorio.

En el año 2010, predominan las fragilidades medias y alta, no obstante mencionar que en comparación al año 2000 bajan un poco los puntos muy alto de fragilidad, debido a que los estos estaban frágiles a ser alterados, fueron utilizado para las diferentes actividades antrópicas, como urbanización, agricultura y cuerpos de aguas contaminados.

32

En 2010, si bien persisten amplias zonas con fragilidad media y alta, se registra una ligera reducción en las áreas de fragilidad muy alta en comparación con el año 2000. Esto no indica una recuperación del paisaje, sino más bien la consolidación de procesos de transformación antrópica en aquellas zonas que previamente eran altamente frágiles y que, para este período, ya habían sido convertidas en usos urbanos, agrícolas o presentaban cuerpos de agua contaminados. La fragmentación del paisaje se acentuó, especialmente en las laderas con pendientes entre 15% y 30%, donde se expandieron los sistemas agroforestales y los cultivos perennes. La proximidad de asentamientos humanos a zonas de conservación incrementó el riesgo de contaminación de suelos y fuentes hídricas, así como la ocurrencia de incendios forestales, exacerbando la vulnerabilidad del paisaje en su conjunto.

5.2.4. Fragilidad paisajística del año 2023.

En el año 2023, en las zonas altamente escarpadas, aumenta los niveles de fragilidad alta, esto determina que los bosques densos y las zonas de conservación están vulnerable a su alteración (deforestación), las fragilidades medias vienen aumentando con los años, debido al aumento de las actividades antrópicas, las zonas muy alta frágil aumento considerablemente desde el año 1980, observándose el deterioro del paisaje por la deforestación y la mala planificación del territorio del municipio.

El cambio del uso de suelo, genero un impacto grande en el paisaje, donde desde el año 2011 hasta el 2023 la perdida de cobertura arbórea fue de 7635 ha, estas áreas fueron usadas para la agricultura, asentamientos urbanos, por ende, se refleja en la figura la afectación a los recursos naturales que forman el paisaje, aumentando los niveles de fragilidad paisajísticas altas en el municipio y los incendios forestales por los suelos descubiertos.

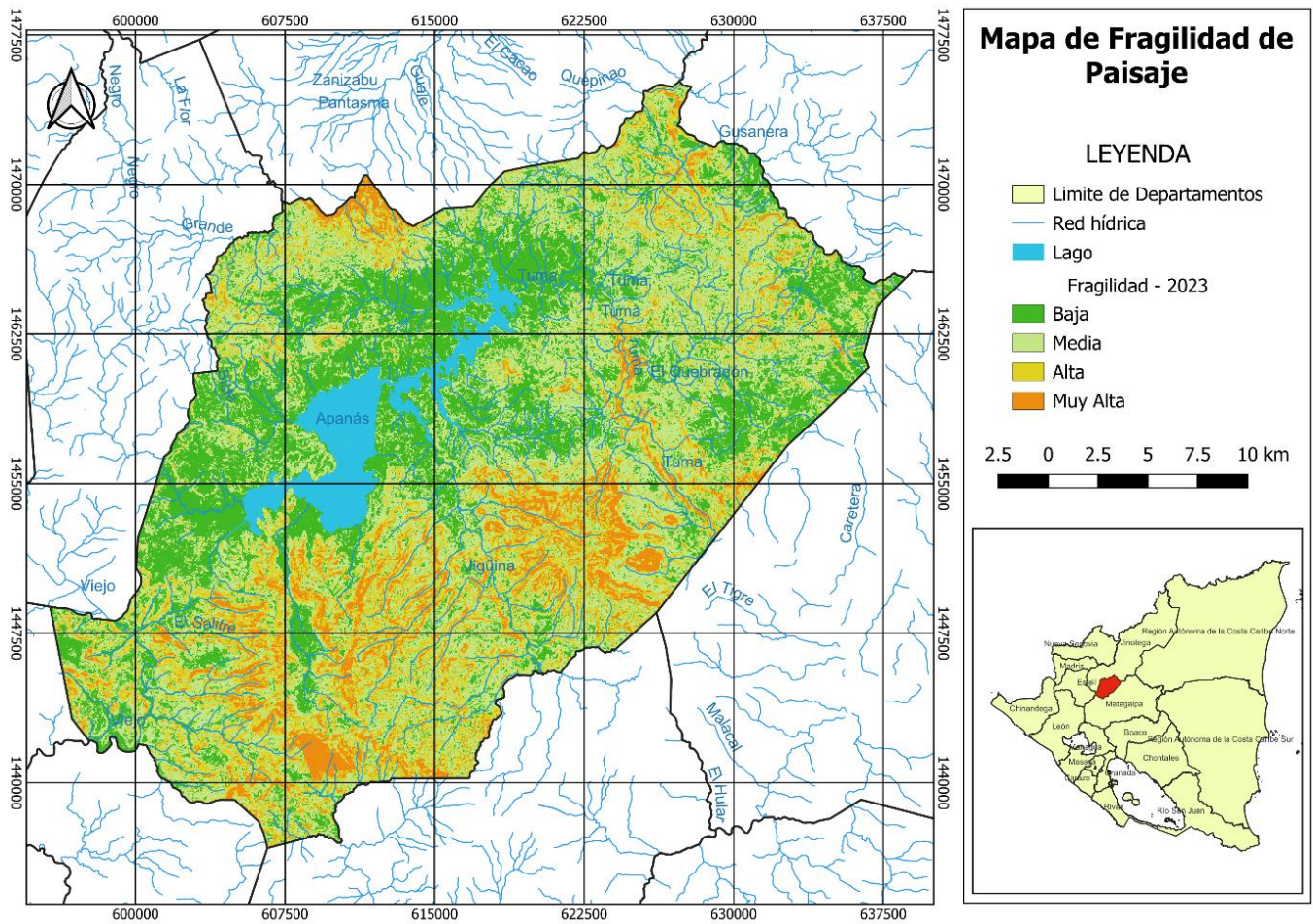


Figura 16 Mapa de Fragilidad del paisaje del año 2023.

- Limite de Departamentos
 Red hídrica
 Lago
 Fragilidad - 2023
 Baja
 Media
 Alta
 Muy Alta



Figura 16 Mapa de Fragilidad del paisaje del año 2023.

5.3. Dinámica Hídrica del municipio de Jinotega.

Para el análisis del balance hídrico del municipio de Jinotega se tomaron de referencias las pendientes entre 15 a 30% que es donde hay más dinámica hídrica, los suelos son del orden Alfisoles, la capacidad de retención de agua de estos suelos es de 105.7 mm, conforme a su profundidad y textura predominante.

Tabla 2 Capacidad de retención de agua según textura del suelo.

Suelos Alfisoles, Ultic Tropudalfs					
TEXTURA	Profundidad cm	DA	CC	PMP	HZ
Franco arcilloso	5	1.4	30	16	0.98
Franco arcilloso	15	1.4	30	16	2.94
Franco arcilloso	25	1.4	30	16	4.9
Franco arcillo arenoso	10	1.25	38	24	1.75
CRAD					105.7

El análisis de la dinámica hídrica en el municipio de Jinotega se basó en la estimación del balance hídrico mediante el método de Thornthwaite y Mather (1955), considerando la capacidad de retención de agua disponible (CRAD) en suelos Alfisoles, que predominan en las laderas con pendientes entre 15% y 30%. La CRAD estimada para estos suelos fue de **105.7 mm**, valor que condiciona la infiltración, el almacenamiento y la escorrentía del agua en el territorio. Los resultados muestran una clara evolución en el comportamiento hídrico del suelo entre 1980 y 2016, asociada a la pérdida de cobertura arbórea y al cambio en los patrones de uso del suelo.

5.3.2. Dinámica Hídrica del año 2000.

En la figura 17 y 18 se muestra que en el año 2000 en Jinotega hubo déficit desde enero hasta marzo, observando los efectos generado por la pérdida de cobertura arbórea, donde los suelos descubiertos tienden a tener menos infiltración y recarga hídrica, donde desde mayo comienza

aumentar las precipitaciones, reflejando que tiene disponibilidad de agua el suelo, en septiembre se disparan las precipitaciones, generando sobre recarga hídrica, posterior a los meses de septiembre las precipitaciones empiezan a bajar, en noviembre la evapotranspiración aumenta y por ende influye directamente al déficit de agua que aumenta generado por el aumento de las temperaturas y la pérdida de cobertura.

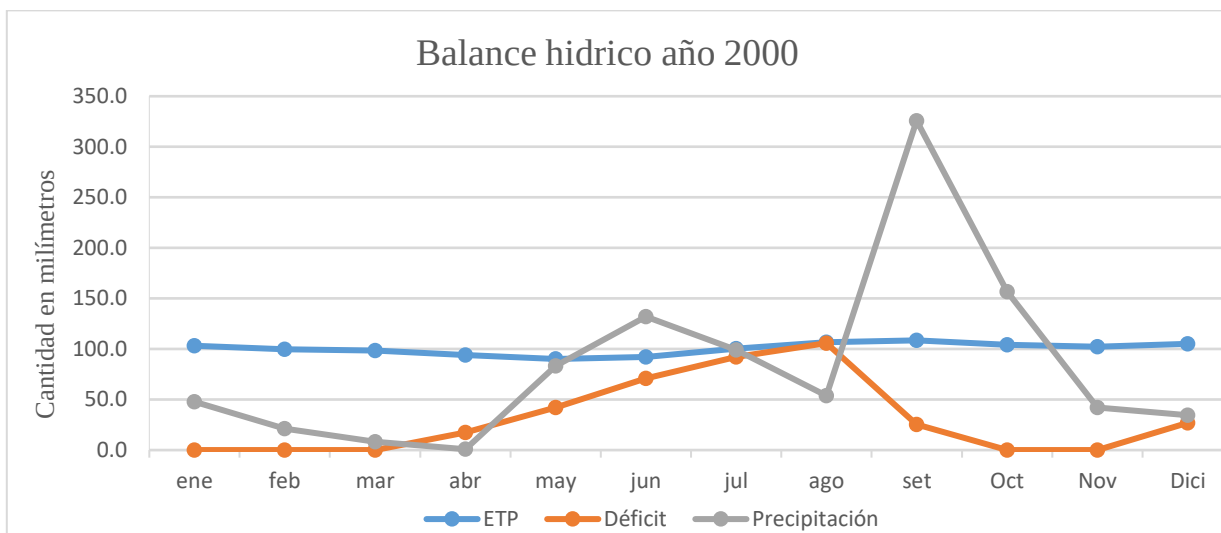


Figura 17 Balance hídrico del año 2000.

La Figura 17, Balance Hídrico del año 2000, evidencia un deterioro significativo en la regulación hídrica del municipio. Se observa un déficit hídrico prolongado entre enero y abril, con reservas del suelo por debajo de los 40 mm, y una respuesta hidrológica más lenta durante la recarga, lo que refleja una menor capacidad de infiltración y almacenamiento. Este comportamiento coincide con la pérdida de cobertura arbórea registrada en la década anterior, que redujo la capacidad de retención de agua y aumentó la escorrentía superficial.

Además, el sistema mostró mayor vulnerabilidad ante eventos extremos, con un pico de escorrentía en septiembre y un descenso abrupto de la disponibilidad hídrica a partir de noviembre. Estos cambios señalan una pérdida de resiliencia hídrica asociada a la alteración del paisaje, con implicaciones para la agricultura y la sostenibilidad ambiental del territorio.

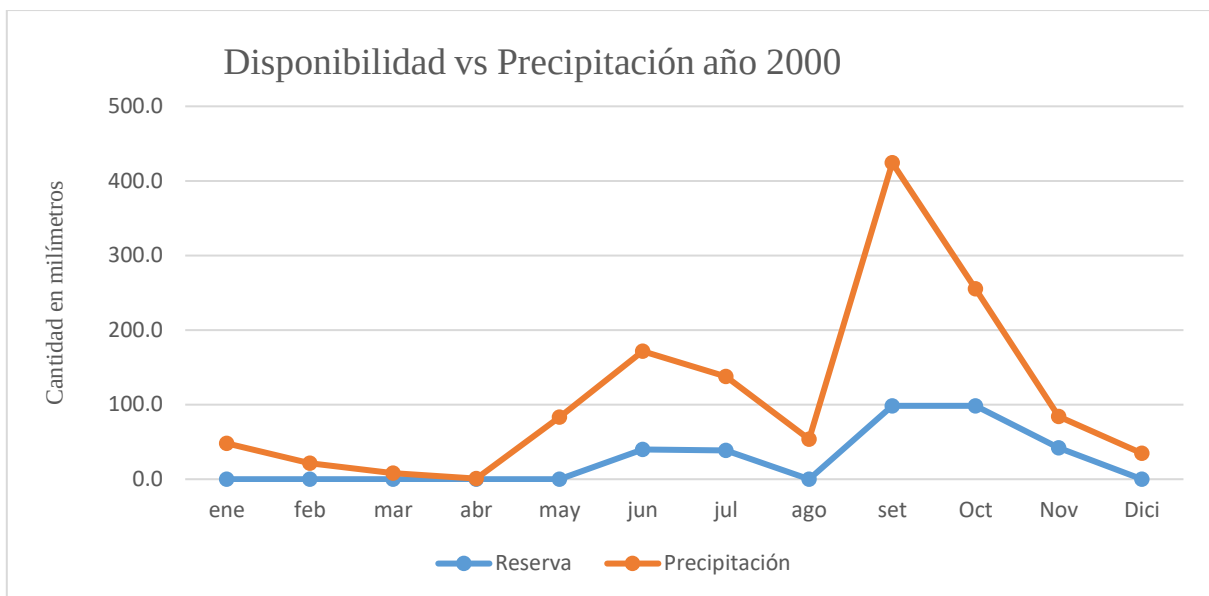


Figura 18 Disponibilidad hídrica del año 2000.

La Figura 18, Disponibilidad Hídrica del año 2000, confirma la progresiva alteración del régimen hídrico territorial. Se observa una estación seca más intensa y extendida, donde la reserva útil de agua en el suelo se mantuvo por debajo del 50% de su capacidad durante los primeros cuatro meses del año. Esta condición contrasta marcadamente y refleja una capacidad de retención hídrica comprometida por la reducción de la cobertura forestal.

Durante la estación lluviosa, aunque se logra una recuperación de las reservas, la respuesta hidrológica muestra mayor irregularidad, con fluctuaciones abruptas que sugieren una pérdida de la regulación natural proporcionada por los bosques. Este patrón evidencia que la transformación del paisaje había comenzado a afectar significativamente la estabilidad del sistema hídrico, reduciendo su capacidad para mantener reservas constantes y aumentando la vulnerabilidad del territorio a periodos de escasez.

5.3.3. Dinámica hídrica del año 2010.

En la figura 19 y 20 se muestra la dinámica hídrica de los suelos del año 2010. donde desde enero hasta mayo la variación de las precipitaciones no es considerable, las precipitaciones desde junio empiezan aumentar, disparándose en septiembre y octubre, esto generando un impacto negativo por la pérdida de cobertura arbórea de esos años, donde causa saturación en

los suelos y pérdidas por la erosión hídrica, en noviembre las precipitaciones bajan en picada, reflejando que esos meses es donde hay más húmedas relativa por bajas presiones atmosféricas.

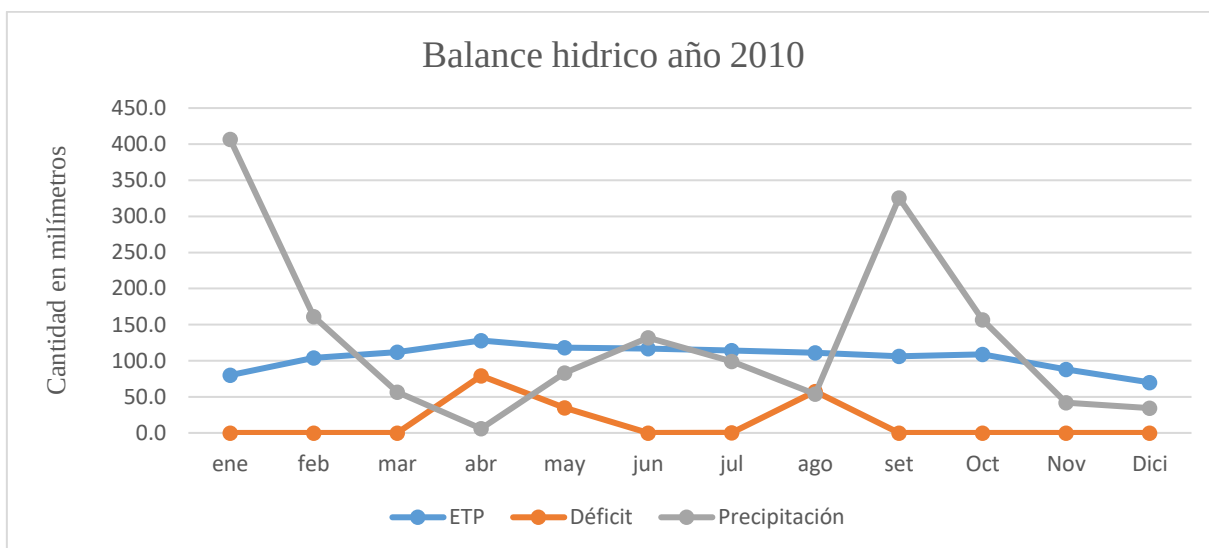


Figura 19 Balance hídrico del año 2010.

La Figura 19, Balance Hídrico del año 2010, revela una mayor inestabilidad hídrica en comparación con años anteriores. Se observa un déficit temprano y pronunciado entre enero y marzo, donde la reserva de agua en el suelo se mantuvo consistentemente por debajo de los 100 mm, evidenciando una capacidad de retención mermada. Este patrón refleja el impacto acumulado de la pérdida de cobertura arbórea, que para este período superaba el 15% de reducción respecto al año 2000.

Durante la estación lluviosa, si bien se alcanza la capacidad de campo, se presentan picos de escorrentía más marcados en septiembre y octubre, indicando una menor capacidad de infiltración del suelo. La transición a la estación seca en noviembre muestra un descenso más abrupto en la disponibilidad hídrica, confirmando la pérdida de resiliencia del sistema ante los cambios estacionales. Este comportamiento consolida una tendencia hacia la irregularidad hídrica que afecta directamente la sostenibilidad agrícola y ambiental del municipio.

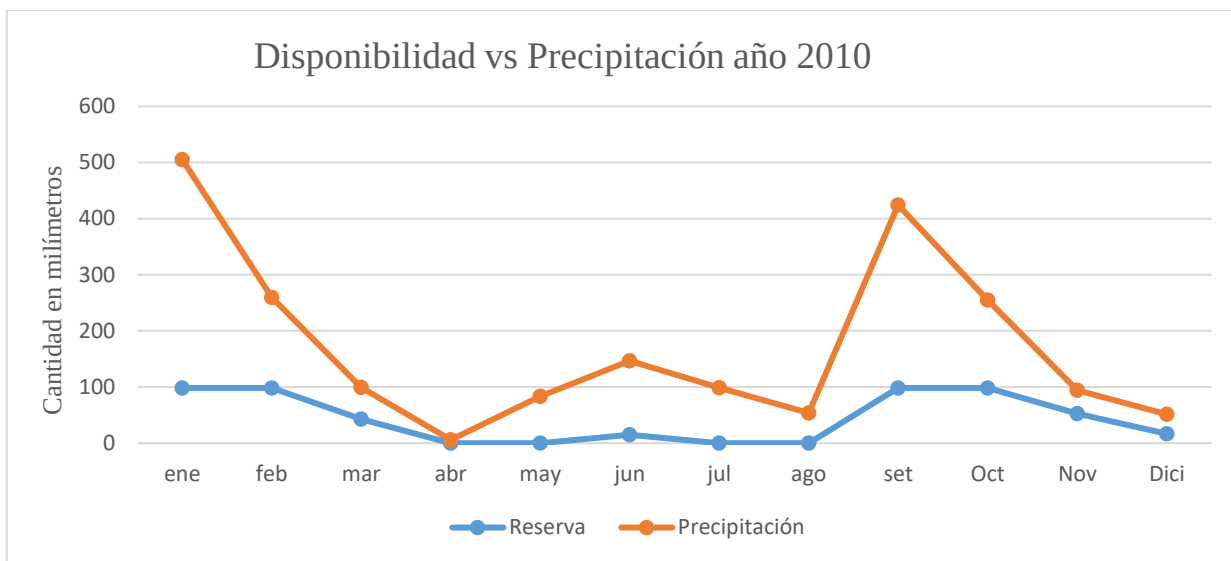


Figura 20 Disponibilidad hídrica del año 2010.

La Figura 20, Disponibilidad Hídrica del año 2010, refleja una notable inestabilidad en el almacenamiento de agua del suelo a lo largo del año. La reserva hídrica muestra fluctuaciones más abruptas en comparación con años anteriores, con una marcada incapacidad para mantener niveles estables de humedad. Durante la estación seca, los valores descienden por debajo del 40% de la capacidad máxima, evidenciando una severa reducción en la retención de agua.

Este comportamiento confirma el deterioro progresivo de la función hidrológica del suelo, donde la pérdida de cobertura vegetal ha comprometido la capacidad del ecosistema para regular el ciclo hídrico de manera efectiva. La mayor amplitud en las variaciones interanuales señala un sistema en desequilibrio, con implicaciones directas para la agricultura de secano y la disponibilidad de agua para los ecosistemas locales.

5.3.4. Dinámica Hídrica del año 2016.

En la figura 21 y 21, se refleja la dinámica hídrica de los suelos del año 2016, hay déficit de agua desde enero hasta abril, observándose el impacto del cambio del uso de suelo en la dinámica hídrica, donde se reflejan variaciones significativas tanto en el déficit como en la reserva de agua de los suelos, desde mayo empiezan aumentar las precipitaciones y, por ende, aumenta la disponibilidad de agua. Cuando hay picos de precipitaciones en los meses, estos tienden a descontrolar la capacidad de retención de los suelos, sobre todo en el municipio, donde

la mayoría de la pérdida de cobertura arbórea fue provocada por la necesidad de las diferentes actividades antrópicas, sobre todo para la agricultura que es una de las potenciales fuentes económicas de la zona, asentamientos urbanos e incendios forestales.

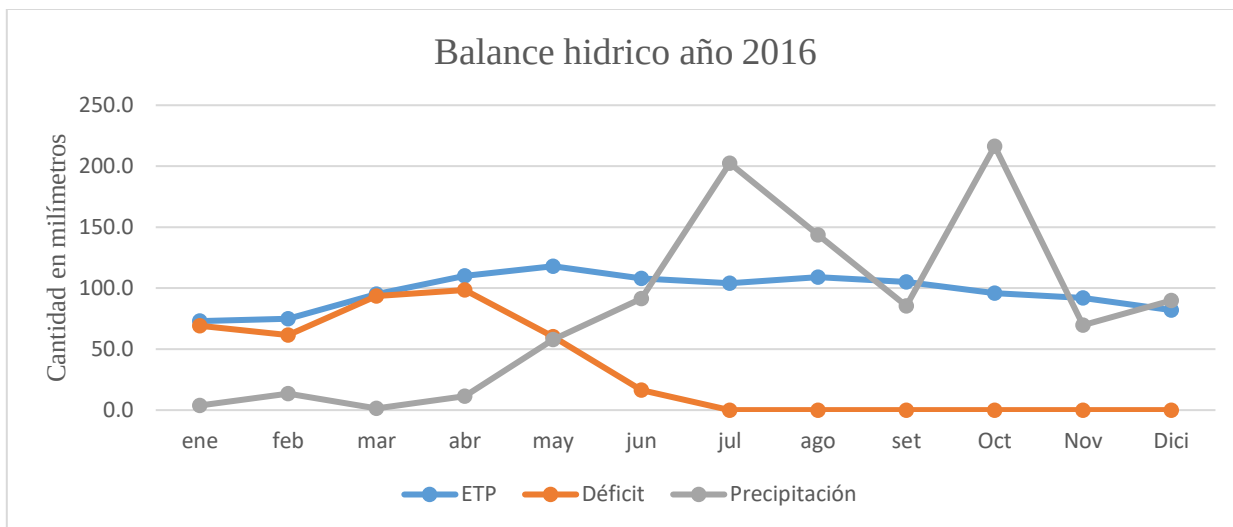


Figura 21 Balance hídrico del año 2016.

La Figura 21, Balance Hídrico del año 2016, representa el escenario más crítico documentado en la serie temporal analizada. El déficit hídrico se intensifica y prolonga significativamente, extendiéndose desde enero hasta abril con valores de reserva en el suelo persistentemente superiores a 100 mm, de escasez (déficit de agua que necesita el suelo en esas fechas) Esta condición refleja una capacidad de retención de agua severamente comprometida, resultado del impacto acumulativo de la deforestación y el cambio de uso del suelo.

La recuperación durante la estación lluviosa es insuficiente y marcadamente irregular. Aunque las precipitaciones logran una recarga temporal, el sistema muestra una pérdida casi total de resiliencia, incapaz de mantener reservas estables o amortiguar los excedentes hídricos. Este patrón consolida una tendencia crítica de degradación hidrológica, donde el territorio ha perdido su capacidad para regular el ciclo del agua, aumentando su vulnerabilidad ante sequías e inundaciones.

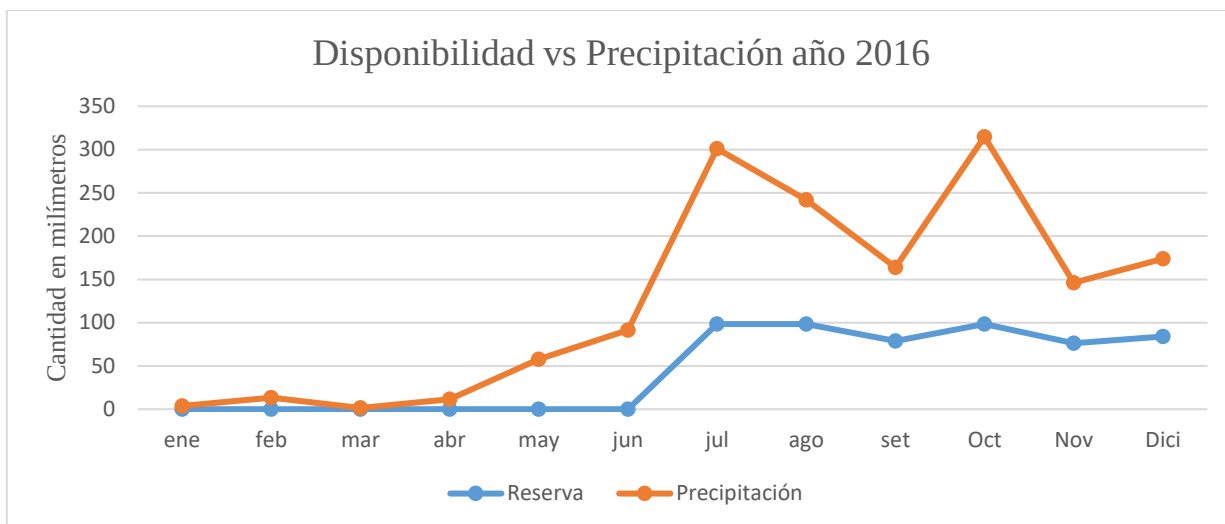


Figura 22 Disponibilidad hídrica del año 2016.

La Figura 22, Disponibilidad Hídrica del año 2016, confirma el estado crítico del sistema hidrológico del municipio. La curva de disponibilidad muestra una reserva útil extremadamente baja y prolongada durante la estación seca, con valores que se mantienen cerca de cero durante varios meses, lo que indica una capacidad de retención de agua prácticamente agotada en el suelo. Esta situación sin precedentes refleja el colapso progresivo de la función reguladora del ecosistema.

Durante la estación lluviosa, aunque se produce cierta recuperación, la respuesta hidrológica es brusca e insostenible, con picos de saturación seguidos de descensos rápidos que impiden una estabilización adecuada de las reservas. Este patrón evidencia la pérdida total de la resiliencia hídrica del territorio, donde el suelo ha perdido su capacidad para almacenar y liberar agua de manera gradual, con graves implicaciones para la seguridad hídrica y la sostenibilidad agro-productiva de la región.

5.3.4. Dinámica hídrica del año 2023.

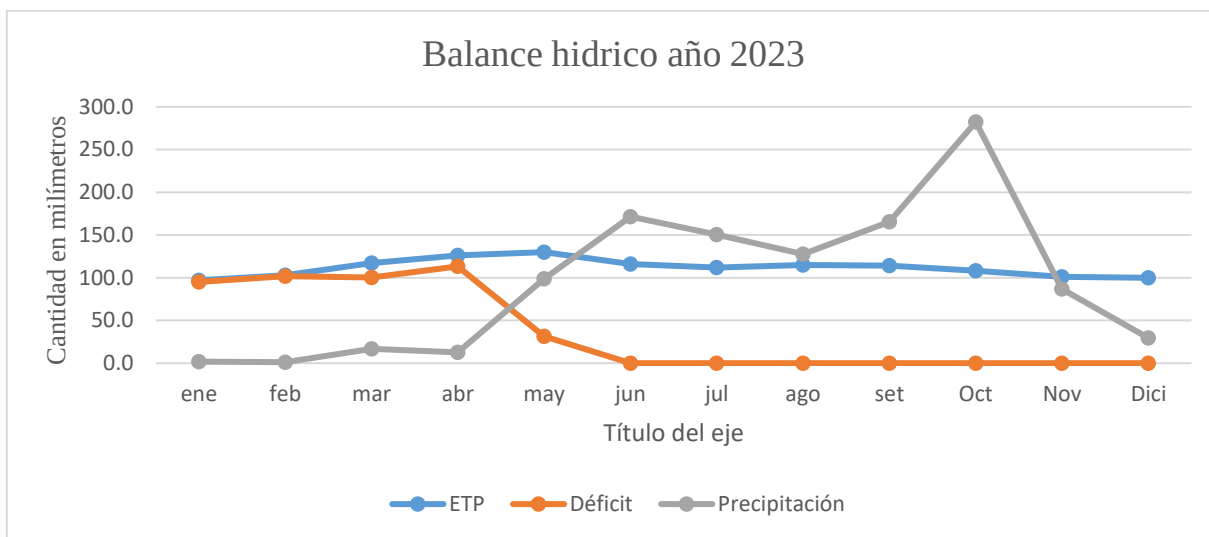


Figura 23 Balance hídrico año 2023

La Figura 23, Balance Hídrico del año 2023, representa uno de los escenarios más críticos. El déficit hídrico se intensifica y prolonga significativamente, extendiéndose desde enero hasta abril con valores de reserva en el suelo persistentemente superiores a 100 mm, de escasez (déficit de agua que necesita el suelo en esas fechas) Esta condición refleja una capacidad de retención de agua severamente comprometida, resultado del impacto acumulativo de la deforestación y el cambio de uso del suelo.

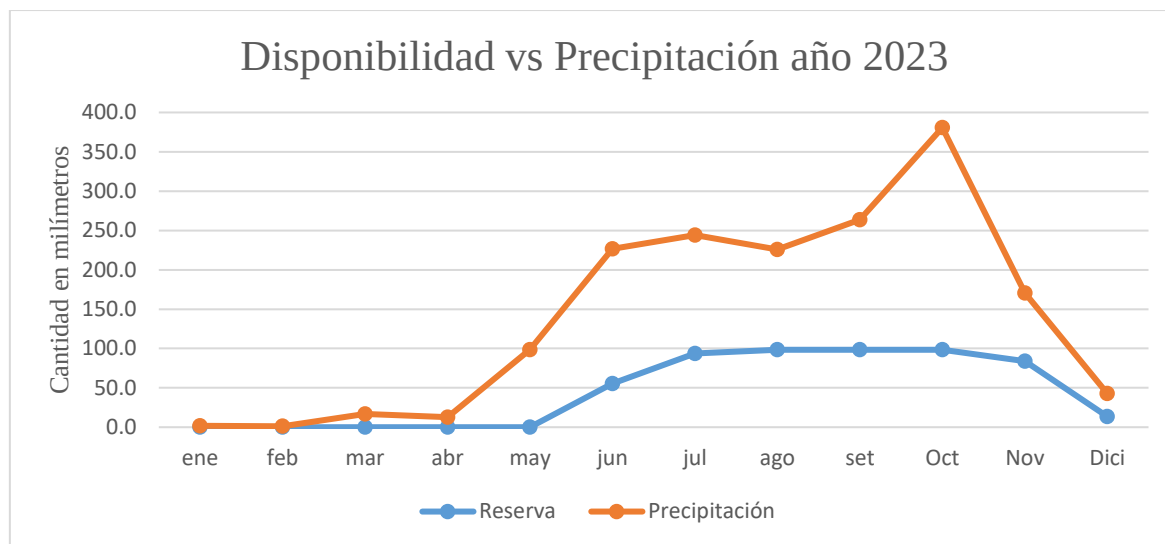


Figura 24 Disponibilidad hídrica año 2023

La Figura 24, Disponibilidad Hídrica del año 2023, confirma el estado crítico del sistema hidrológico del municipio. La curva de disponibilidad muestra una reserva útil extremadamente baja y prolongada durante la estación seca, con valores que se mantienen cerca de cero durante varios meses, desde enero hasta mayo, lo que indica una capacidad de retención de agua prácticamente agotada en el suelo. Esta situación sin precedentes refleja el colapso progresivo de la función reguladora del ecosistema.

Durante la estación lluviosa, aunque se produce cierta recuperación, la respuesta hidrológica es brusca e insostenible, con picos de saturación seguidos de descensos rápidos que impiden una estabilización adecuada de las reservas. Este patrón evidencia la pérdida total de la resiliencia hídrica del territorio, donde el suelo ha perdido su capacidad para almacenar y liberar agua de manera gradual, con graves implicaciones para la seguridad hídrica y la sostenibilidad agro-productiva de la región.

5.3.6. Análisis estadístico relación multivariada

El análisis multivariado aplicado a las variables climáticas y de cambio de uso del suelo reveló relaciones significativamente débiles entre los factores estudiados. La correlación entre precipitación y deforestación mostró un coeficiente próximo a cero ($R^2 < 0.1$), indicando que las variaciones en las lluvias no han sido un determinante principal en la pérdida de cobertura forestal. De igual forma, la relación entre temperatura y deforestación presentó una correlación ligeramente positiva pero igualmente débil ($R^2 \approx 0.15$), sugiriendo que el aumento térmico ha sido más una consecuencia que una causa de la transformación del paisaje.

Estos resultados confirman que los impulsores antrópicos —expansión agrícola, crecimiento urbano y desarrollo de infraestructura— han sido los factores determinantes en la transformación del territorio, por encima de las variables climáticas analizadas. La escasa correlación entre precipitación y temperatura ($R^2 < 0.1$) refuerza esta interpretación, indicando que los cambios observados en el paisaje responden principalmente a presiones socioeconómicas locales más que a variaciones climáticas regionales. Este hallazgo resulta crucial para la planificación territorial, pues señala que las estrategias de conservación y restauración deben enfocarse en regular las actividades humanas antes que en adaptarse a cambios climáticos.

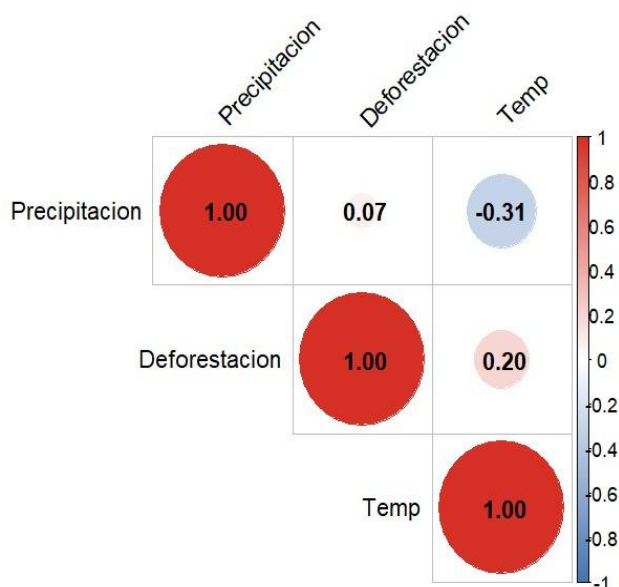


Figura 25 relación Multivariada

La correlación entre **Precipitación y Deforestaciones** es positiva pero débil, casi nula, los cambios en la deforestación no están asociados a las variaciones significativas de las precipitaciones en el municipio, la deforestación y temperatura tienen una correlación moderadamente negativa, donde a medida que aumentan la temperatura las precipitaciones tienden a disminuir, esto no de forma muy fuerte.

La Deforestación y Temperaturas, tiene una correlación débil pero positiva, donde a mayor deforestación está asociada a los ligeros a aumento en la temperatura, esto debido que los árboles generan microclimas que mantiene las temperaturas cálidas, entre más cobertura arbórea se tiene más humedad relativa por la evapotranspiración de las plantas.

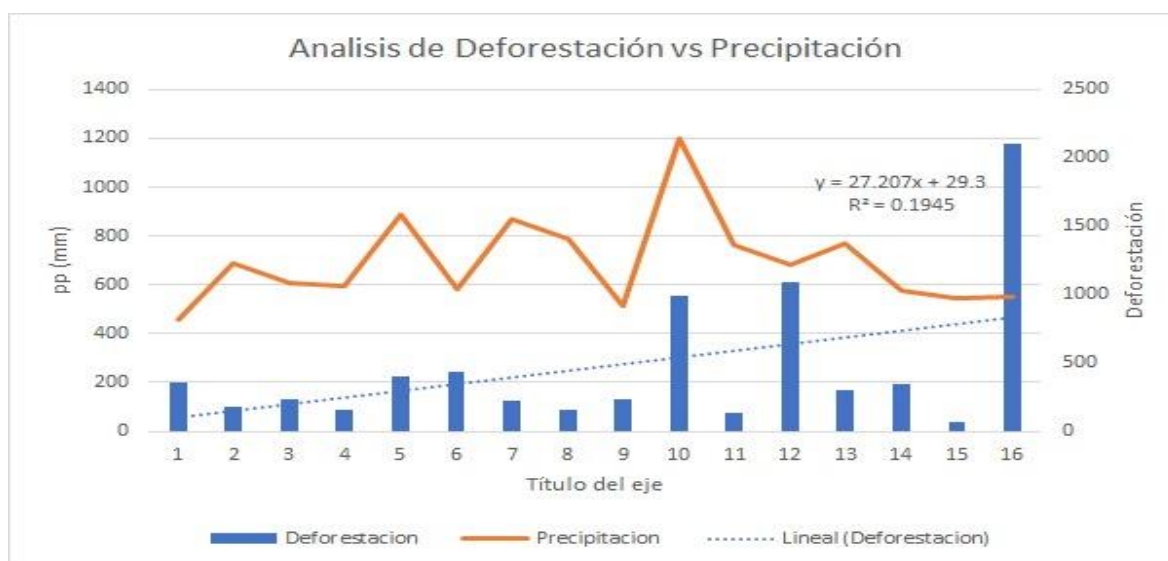


Figura 26 correlación de precipitación vs deforestación.

La Figura 26, Correlación de precipitación vs deforestación, muestra una relación estadísticamente débil entre ambas variables, con un coeficiente de determinación (R^2) inferior a 0.1. La nube de puntos presenta una distribución dispersa y sin tendencia definida, donde períodos de alta precipitación coinciden tanto con años de alta como de baja deforestación, y viceversa. Esto indica que la variabilidad interanual de las lluvias no ha sido un factor determinante en las tasas de pérdida de cobertura forestal.

Este hallazgo refuerza la conclusión de que la deforestación en Jinotega responde principalmente a factores antrópicos —como la expansión agropecuaria, la especulación de tierras y el crecimiento urbano— y no a condicionantes climáticos naturales. La inexistencia de

una relación causal entre precipitación y deforestación subraya la necesidad de enfocar las políticas de control en la regulación de actividades humanas más que en la adaptación a variaciones climáticas.

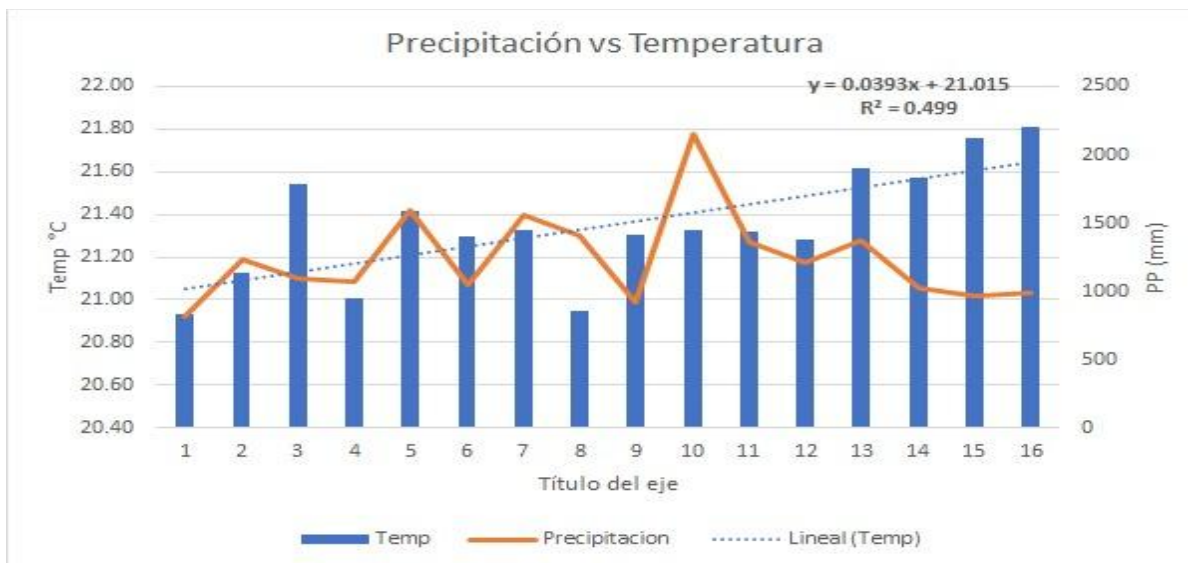


Figura 27 correlación de precipitaciones vs temperaturas.

La Figura 27, Correlación de precipitación vs temperatura, revela una ausencia de relación significativa entre estas variables climáticas en el municipio de Jinotega. La distribución dispersa de los datos y el valor del coeficiente de determinación ($R^2 < 0.1$) confirman que no existe un patrón claro de influencia entre la temperatura y la precipitación en el período estudiado. Esta independencia entre variables sugiere que los factores que controlan la temperatura y las lluvias operan mediante mecanismos atmosféricos distintos a escala local.

Este resultado es particularmente relevante para la planificación ambiental, ya que indica que las variaciones en el régimen térmico no pueden ser utilizadas como indicadores predictivos del comportamiento pluviométrico, ni viceversa. La independencia observada refuerza la necesidad de desarrollar modelos de gestión del territorio diferenciados para eventos de calor extremo y para variaciones en el régimen de lluvias, reconociendo que se trata de fenómenos climáticos con dinámicas independientes en el contexto del municipio.

VI. CONCLUSIONES

Se confirma que el municipio de Jinotega sufrió una transformación territorial crítica en el periodo 2001-2023, perdiendo 9,531.06 hectáreas de cobertura arbórea, lo que representa una reducción del 20.6% de la masa forestal original. El análisis de imágenes satelitales y el cálculo del NDVI demuestran que el cambio predominante es la transición de bosques hacia pastizales y áreas agrícolas. Estos cambios responden a factores antrópicos (expansión de la frontera agrícola e incendios), cuya incidencia es estadísticamente independiente de las variables climáticas (precipitación y temperatura), invalidando la variabilidad natural como causa primaria de la deforestación.

La integridad ecológica del territorio ha transitado de un estado mayoritariamente estable en el año 2000 hacia un escenario de vulnerabilidad crítica en 2023. La fragmentación del paisaje ha incrementado las áreas de alta y muy alta fragilidad, localizadas principalmente en zonas de relieve accidentado y pendientes pronunciadas. La eliminación de la cobertura vegetal en estas áreas ha reducido la capacidad de amortiguamiento del ecosistema, aumentando el riesgo de degradación del suelo y pérdida de conectividad biológica.

El análisis del balance hídrico revela que la pérdida de cobertura forestal ha alterado significativamente el ciclo hidrológico local. Se evidencia una disminución en las tasas de infiltración y una aceleración de la escorrentía superficial, lo que compromete la recarga de los acuíferos y agudiza el déficit hídrico estacional. La correlación entre la pérdida de bosque y la reducción de la humedad del suelo confirma que, de mantenerse la tendencia actual de uso de suelo sin medidas de mitigación, la seguridad hídrica del municipio de Jinotega se verá seriamente comprometida en el corto plazo.

En definitiva, la ruptura del equilibrio ecosistémico en Jinotega no es una consecuencia de la variabilidad climática, sino del actual modelo de ocupación territorial desarticulado. La integración de los mapas de fragilidad y los indicadores hídricos generados en esta investigación es fundamental para la actualización de los planes de ordenamiento municipal. Sin una gestión que priorice la reconversión de usos de suelo en zonas críticas y la protección de áreas de recarga, el municipio enfrentará una degradación irreversible, comprometiendo la resiliencia hídrica y la sostenibilidad de sus recursos naturales ante la creciente presión antrópica.

VII. RECOMENDACIONES.

1. Fortalecer la gobernanza territorial mediante la implementación de un plan de ordenamiento que establezca zonificación de conservación en áreas boscosas remanentes y humedales, regule la expansión urbana hacia zonas de recarga hídrica y promueva sistemas productivos sostenibles como agroforestería y silvopastoril.
2. Implementar un programa de restauración ecológica que priorice la reforestación en áreas con suelos desnudos y la protección de zonas identificadas como de recarga hídrica crítica, integrando metodologías hidrológicas para la identificación de áreas prioritarias.
3. Desarrollar capacidades locales a través de programas de educación ambiental y capacitación técnica en agricultura orgánica, regenerativa y prácticas resilientes, dirigidos a comunidades y productores de la subcuenca.
4. Establecer un sistema integral de monitoreo y alerta temprana para incendios forestales y eventos climáticos extremos, fortaleciendo la gestión comunitaria y municipal del riesgo con planes de respuesta específicos.
5. Promover la investigación aplicada y monitoreo continuo que integre variables hidrológicas, de cambio de uso de suelo y calidad paisajística, generando información para la toma de decisiones basada en evidencia científica.

VIII. LITERATURA CITADA

- Aide, T. M. et al. (2013). Deforestation and reforestation of Latin America and the Caribbean (2001–2010). *Biotropica*, 45(2), 262-271. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2012.00908.x>
- Bosch, J. M., & Hewlett, J. D. (1982). A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. *Journal of Hydrology*, 55(1-4), 3-23. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(82\)90117-2](https://doi.org/10.1016/0022-1694(82)90117-2)
- FAO. (2020). El estado de los bosques del mundo 2020. <http://www.fao.org/3/ca8642es/CA8642ES.pdf>
- INETER. (2019). Estudio de capacidad de infiltración en suelos de Nicaragua. <https://www.ineter.gob.ni/>
- INETER. (2021). Estudio de erosión en la subcuenca del río Viejo, Jinotega. <https://www.ineter.gob.ni/>
- López, M., & Rivas, J. (2018). Impacto de la deforestación en la disponibilidad hídrica de Nicaragua. *Revista Ambiental de la Universidad Centroamericana*, 12(3), 45-60.
- MARENA. (2019). Modelación hidrológica con SWAT en la cuenca del río San Juan. <https://www.marena.gob.ni/>
- MARENA. (2021). Evaluación de la fragilidad paisajística en reservas naturales de Nicaragua. <https://www.marena.gob.ni/>
- Martínez, R., & Herrera, L. (2020). Fragmentación del paisaje y recursos hídricos en Jinotega. *Revista Nicaragüense de Geografía*, 8(1), 22-39.
- Quesada-Román, A. et al. (2022). Landslide susceptibility index based on GIS and multicriteria analysis in Costa Rica. *Geosciences*, 12(3), 112. <https://doi.org/10.3390/geosciences12030112>
- Souza, C. et al. (2020). Mapping forest degradation in the Amazon. *Remote Sensing*, 12(5), 787. <https://doi.org/10.3390/rs12050787>

- Universidad Nacional Agraria. (2020). Evaluación de suelos volcánicos en Nicaragua. <http://www.una.edu.ni/>
- Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua. (2020). Aplicación del modelo InVEST en la cuenca del río Tipitapa. <http://www.unan.edu.ni/>
- Valdés, R. et al. (2020). Hydrological impacts of land use change in Panama. Water Resources Management, 34(8), 2459-2474. <https://doi.org/10.1007/s11269-020-02563-y>
- Weng, Q. (2001). Modeling urban growth effects on surface runoff with GIS. Remote Sensing of Environment, 76(3), 251-262. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(00\)00209-6](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(00)00209-6)
- Tome. R (2010). *Otros métodos para evaluar paisaje*. CEPISA PERU. [otrso metodos para evaluar paisaje.pdf](#)
- Jasmina Hernández. , y Jairo, M. (1997). *Estudio de suelos y caracterización hidrológica superficial en la sub cuenca del Rio Jinotega departamento de Jinotega (tesis de ingeniería)*. Repositorio institucional Universidad Nacional Agraria. <https://repositorio.una.edu.ni/id/eprint/904c>
- Solari, F. A., & Cazorla, L. (2009). Valoración de la calidad y fragilidad visual del paisaje. [Cuadernos del Centro de Estudios en Diseño y Comunicación. Ensayos, \(30\), 213-226.](#)
- Consejo Nacional de Investigación. (2008). Monitoreo Hidrológico. The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/12012>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2016). AQUASTAT - Sistema de información hídrica para la agricultura. <http://www.fao.org/aquastat/en/>.
- Javier M, Karina G y Jorge T. (2018). Uso y manejo de recursos hídricos en el distrito 9 del municipio de jinotega, revista iberoamericana de bioeconomía y cambio climático. https://portal.amelica.org/ameli/journal/394/3941755013/html/?utm_source=chatgpt.com
- Ruiz V, Save R y Herrera A. (2013). Análisis multitemporal del cambio de uso del suelo, en el Paisaje Terrestre Protegido Miraflores Moropotente Nicaragua, 1993 – 2011, ecosistemas. [Análisis](#)

[multitemporal del cambio de uso del suelo, en el Paisaje Terrestre Protegido Mirafior Moropotente Nicaragua, 1993-2011 | Revista Científica Estelí.](#)

Pujol P, Sauri D, Martí C y Pujadas M. (1999). Cambio en el uso de suelo en el sudeste de Nicaragua. [1983 - 1992.Revis ta Estudios Centroamericanos.](#)
<https://www.camjol.info/index.php/ENCUENTRO/article/view/3837>

Lazo, A. (2014). Cambio en la cobertura del suelo y cuantificación del carbono almacenado en los diferentes usos de la tierra como lineamientos en el desarrollo de estrategias de mitigación ante el cambio climático en la zona de amortiguamiento de la reserva de biosfera rio platano, Honduras, Centro agronómico tropical de investigación y enseñanza.
[https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/7079/Cambios en la cobertura del suelo.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/7079/Cambios_en_la_cobertura_del_suelo.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Sanabrial M, Perez J, Pineda N, Vargas E, Peñas L y Lopez M. (2015). Cambios de cobertura/uso del suelo en una porción de la Zona de Transición Mexicana de Montaña. Madera y bosques.
[Cambios de cobertura/uso del suelo en una porción de la Zona de Transición Mexicana de Montaña,](#)

Ruiz, V., Savé, R., & Herrera, A. (2013). Análisis multitemporal del cambio de uso del suelo, en el Paisaje Terrestre Protegido Mirafior Moropotente Nicaragua, 1993-2011. [Cambio en el uso de suelo en nicaragua - Google Scholar](#)

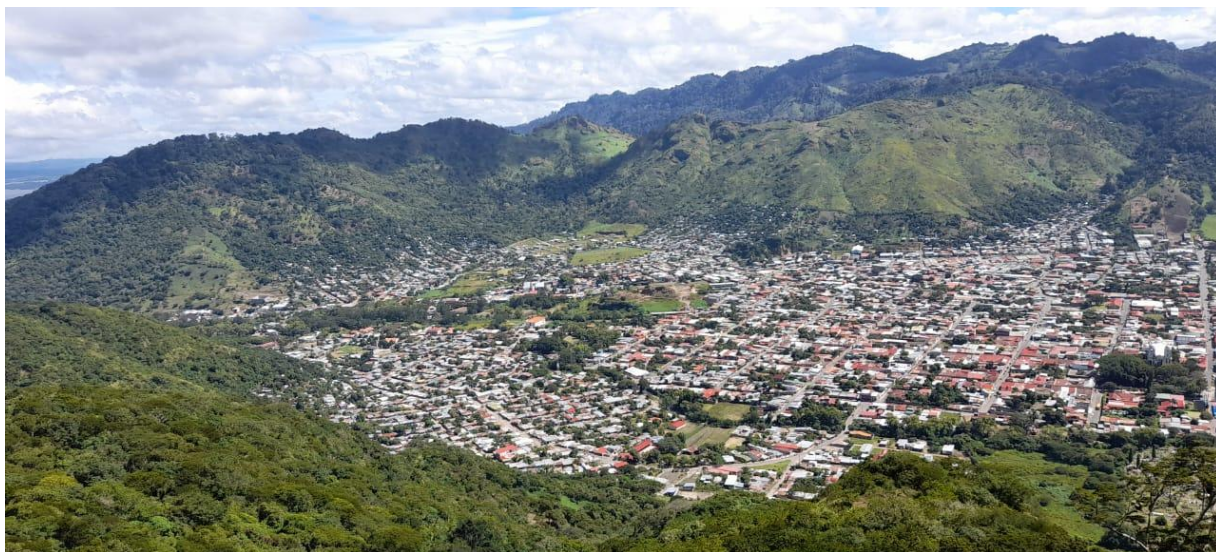
Torres Obregón, A. J., Huete Villarreyna, W. J., & Figueroa Huete, J. A. (2021). Cambio de uso de suelo y cobertura vegetal en las unidades hidrográficas La Jabonera y La Pita, entre los periodos de 2000 al 2020, Estelí, Nicaragua. [Cambio de uso de suelo y cobertura vegetal en las unidades hidrográficas La Jabonera y La Pita, entre los periodos de 2000 al 2020, Estelí, Nicaragua - Repositorio Institucional UNAN-Managua](#)

IX. ANEXOS

Anexo 1 Fotos del municipio de Jinotega



Anexo 2 Fotos del paisaje de Jinotega



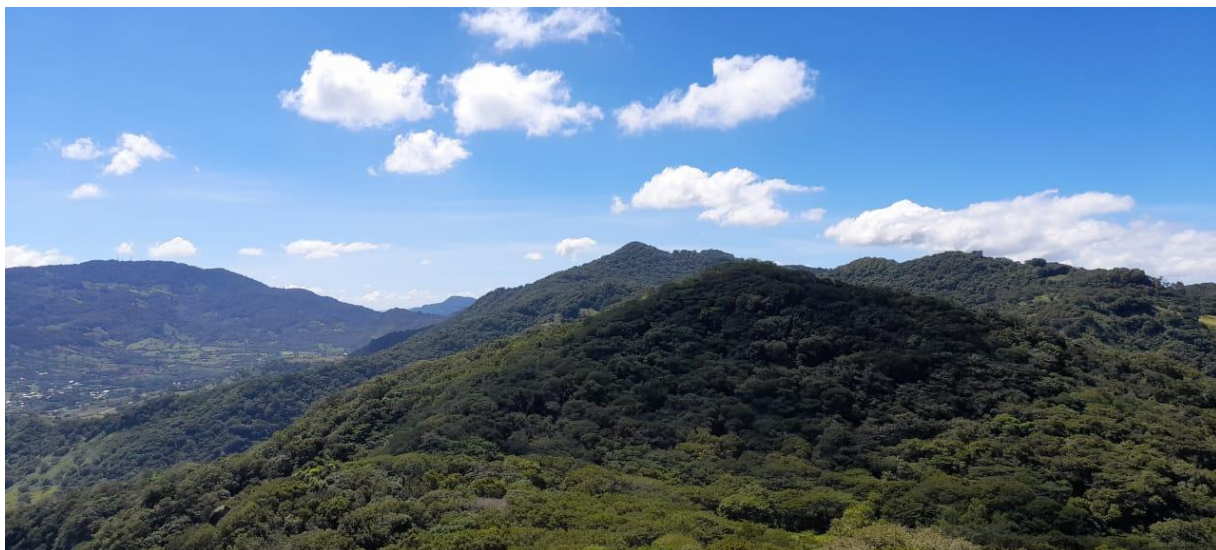
Anexo 3 Fotos de zonas de conservación de Jinotega



Anexo 4 Fotos de zona de urbanización Jinotega



Anexo 5 Fotos de bosque latifoliado de Jinotega.



Anexo 6 Fotos de bosque latifoliado de Jinotega



Anexo 7 Fotos del paisaje de Jinotega



Anexo 8 Fotos del paisaje de Jinotega



Anexo 9 Fotos de arvenses Jinotega



Anexo 10 Fotos de levantamiento de campo Jinotega.

