

**Universidad Nacional Experimental
de los Llanos Occidentales
“Ezequiel Zamora”**



La Universidad que Siembra

**VICERRECTORADO
DE INFRAESTRUCTURA Y PROCESOS INDUSTRIALES
ESTADO COJEDES**

**PROGRAMA DE ESTUDIOS
AVANZADOS**

**ANÁLISIS DE LA DEGRADACIÓN DE LA TIERRA EN LA
CUENCA DEL RIO MACAPO, ESTADO COJEDES**

**Autor: Carlos Cedeño
Tutor: Dr. Franklin J. Paredes T.**

Universidad Nacional Experimental
de los Llanos Occidentales
“EZEQUIEL ZAMORA”



La Universidad que siembra

Vicerrectorado de Infraestructura
y Procesos Industriales
Programa de Estudios Avanzados
Postgrado en Ingeniería Ambiental

**ANÁLISIS DE LA DEGRADACIÓN DE LA TIERRA EN LA CUENCA DEL
RIO MACAPO, ESTADO COJEDES**

Requisito parcial para optar al grado de

Magister Scientiarum

AUTOR: Carlos Cedeño

C.I. N° V-19.542.024

TUTOR: Dr. Franklin Javier Paredes Trejo

SAN CARLOS, ABRIL DE 2023

APROBACIÓN DEL TUTOR

Yo, Franklin Javier Paredes Trejo, titular de la Cédula de Identidad N° V-12.200.786, en mi carácter de tutor del Trabajo de Grado titulado **ANÁLISIS DE LA DEGRADACIÓN DE LA TIERRA EN LA CUENCA DEL RIO MACAPO, ESTADO COJEDES**, presentado por Carlos Cedeño, titular de la Cédula de Identidad N° V-19.542.024, como requisito para optar al título de *Magister Scientiarum* en Ingeniería Ambiental por la Universidad Nacional Experimental de los Llanos Ezequiel Zamora (UNELLEZ), por medio del presente certifico que he leído el Trabajo y considero que reúne las condiciones necesarias para ser defendido y evaluado por el jurado examinador que se designe.

En la ciudad de San Carlos, estado Cojedes, a los diez días del mes de abril de dos mil veintitrés.

Dr. Franklin Javier Paredes Trejo
CI N° V- 12.200.786
TUTOR

AGRADECIMIENTO

A Dios nuestro Señor por la oportunidad que he tenido de aprender, mejorar y de crecer junto a personas tan especiales para mí, y que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio. Por darme la oportunidad de vivir, por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente, además de su infinita bondad y amor.

A mis padres con todo mi cariño y mi amor, ya que hicieron todo en la vida para que yo pudiera lograr mis sueños, por motivarme y darme la mano cuando sentía que el camino se terminaba, por su valioso apoyo en todo momento desde el inicio de mis estudios de maestría. A ustedes por siempre mi corazón y mi agradecimiento.

A mi Profesor Guía y Tutor; Dr. Franklin Paredes, por su amistad, paciencia y su constante apoyo durante el desarrollo de esta tesis.

De igual forma deseo expresar mi agradecimiento a la UNELLEZ (Programa de Estudios Avanzados), por darme la oportunidad de realizar los estudios de Maestría, y contar con su apoyo en todo momento.

A los profesores de Postgrado, y compañeros de trabajo, por sus aportes académicos y amistosos; a todo lo largo de esta Maestría; amigos por siempre.

A todos ellos gracias. Con mucho cariño, humildemente

Carlos Cedeño



UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL
DE LOS LLANOS OCCIDENTALES
"EZEQUIEL ZAMORA"
UNELLEZ VIPI COJEDES

Unellez



PRESAV
PROGRAMA DE
ESTUDIOS AVANZADOS
COJEDES-UNELLEZ

ACTA DE ADMISIÓN TRABAJO ESPECIAL DE GRADO, TRABAJO DE GRADO, TESIS DOCTORAL

Nosotros, miembros del jurado de:

Trabajo Especial de Grado	<input checked="" type="checkbox"/>	Trabajo de Grado	<input type="checkbox"/>	Tesis Doctoral	<input type="checkbox"/>
---------------------------	-------------------------------------	------------------	--------------------------	----------------	--------------------------

Titulado(a):

ANÁLISIS DE LA DEGRADACIÓN DE LA TIERRA EN LA CUENCA DEL RIO MACAPO, ESTADO COJEDES

Elaborado por el (la) participante:

Nombres, Apellidos y Cédula de Identidad

CARLOS RAFAEL CEDEÑO RANGEL, C.I. V- 19.542.024

Como requisito parcial para optar al grado académico de: Magister Scientiarum, el cual es ofrecido en el programa de estudios de Maestría en Ingeniería Ambiental, del Programa de Estudios Avanzados del Vicerrectorado de Infraestructura y Procesos Industriales de la UNELLEZ -San Carlos, hacemos constar que hoy: **miércoles 20 de septiembre de 2023, a las: 3:00 p.m.**, se realizó la admisión del mismo, acordando que:

- EL TRABAJO / TESIS SE ACEPTA PARA LA PRESENTACIÓN / DEFENSA ORAL.
- EL TRABAJO / TESIS SE ACEPTA PARA LA PRESENTACIÓN / DEFENSA ORAL, UNA VEZ QUE SE ADOPTEN LAS MODIFICACIONES SUGERIDAS.
- EL TRABAJO / TESIS NO SE ACEPTA PARA LA DEFENSA ORAL.

Se estableció como fecha de presentación / defensa, el día: **viernes 06 de octubre de 2023. Hora: 10:00 a.m.**, Dando fe de ello levantamos la presente acta en San Carlos, a los veinte (20) días de septiembre de 2023.

Franklin Paredes
1.- Jurado Coordinador (a)

Dr. Franklin Paredes
C.I. V- 12.200.786 (Tutor- UNELLEZ)

2.- Jurado Principal

Dra. Yalaxi Laya
C.I.V- 16.271.200 (UNELLEZ)

Rafael Reyes
3.- Jurado Principal

Dr. Rafael Reyes
C.I. V- 6.898.573 (UNESR)

4.- Jurado Suplente

Dra. Nahir Carballo
C.I. V- 11.961.711 (UNELLEZ)

5.- Jurado Suplente

Dr. Julio Camejo
C.I.V- 7.561.584 (UNESR)

Nota: Esta acta es válida con tres (03) firmas y un sello.



UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL
DE LOS LLANOS OCCIDENTALES
"EZEQUIEL ZAMORA"
UNELLEZ VIPI COJEDES



PRESAV
PROGRAMA DE
ESTUDIOS AVANZADOS
COJEDES-UNELLEZ

ACTA DE PRESENTACIÓN / DEFENSA TRABAJO ESPECIAL DE GRADO, TRABAJO DE GRADO, TESIS DOCTORAL

Nosotros, miembros del jurado de:

Trabajo Especial de Grado	X	Trabajo de Grado	Tesis Doctoral
---------------------------	---	------------------	----------------

Titulado(a):

ANÁLISIS DE LA DEGRADACIÓN DE LA TIERRA EN LA CUENCA DEL RIO MACAPO, ESTADO COJEDES

Elaborado por el (la) participante:

Nombres, Apellidos y Cédula de Identidad

CARLOS RAFAEL CEDEÑO RANGEL, C.I. V- 19.542.024

Como requisito parcial para optar al grado académico de: *Magister Scientiarum*, el cual es ofrecido en el programa de: Maestría en Ingeniería Ambiental, del Programa de Estudios Avanzados del Vicerrectorado de Infraestructura y Procesos Industriales de la UNELLEZ – San Carlos, hacemos constar que hoy, **viernes 06 de octubre de 2023. Hora: 10:00 am**, se realizó la presentación / defensa del mismo, acordando:

- APROBAR LA PRESENTACIÓN / DEFENSA DEL TRABAJO / TESIS.
- APROBAR LA PRESENTACIÓN / DEFENSA DEL TRABAJO / TESIS, OTORGANDO MENCIÓN PUBLICACIÓN.
- APROBAR LA PRESENTACIÓN / DEFENSA DEL TRABAJO / TESIS, OTORGANDO MENCIÓN HONORÍFICA.
- APROBAR LA PRESENTACIÓN / DEFENSA DEL TRABAJO / TESIS, OTORGANDO MENCIÓN PUBLICACIÓN Y HONORÍFICA.

Dando fe de ello levantamos la presente acta, la cual finalizó a las 10:45 AM

Franklin Paredes
1.- Jurado Coordinador (a)

Dr. Franklin Paredes
C.I. V- 12.200.786 (Tutor- UNELLEZ)

2.- Jurado Principal

Yalexí Laya
Dra. Yalexí Laya
C.I.V- 16.271.200 (UNELLEZ)

4.- Jurado Suplente

Nahir Carballo
Dra. Nahir Carballo
C.I. V-11.961.711 (UNELLEZ)

3.- Jurado Principal

Rafael Reyes
Dr. Rafael Reyes
C.I. V- 6.898.573 (UNESR)

5.- Jurado Suplente

Julio Camejo
Dr. Julio Camejo
C.I.V- 7.561.584 (UNESR)

Nota: Esta acta es válida con tres (03) firmas y un sello.

	pág.
INDICE	
LISTA DE TABLAS y FIGURAS	vii
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I	4
EL PROBLEMA	4
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	8
1.2.1. Objetivo general	8
1.2.2. Objetivos específicos	8
1.3. JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACION	8
CAPÍTULO II	11
MARCO TEÓRICO	11
2.1. Antecedentes de la investigación	11
2.1.1. A nivel internacional	11
2.1.2. A nivel nacional	16
2.2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	18
2.2.1. Percepción remota	18
2.2.2. El espectro electromagnético	19
2.2.3. Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)	20
2.2.4. Series temporales	21
2.2.5. Análisis de series temporales	22
2.2.6. Tendencia y nivel de la serie	22
2.2.7. Agenda 2030	23
2.2.8. Objetivos de Desarrollo Sostenible	23
2.2.9. ODS 15, Vida de ecosistemas terrestres	23
2.2.10. Sub-indicador productividad de la vegetación	24
2.2.11. Sub-indicador cobertura terrestre	24
2.2.12. Sub-indicador carbono orgánico del suelo	25

2.2.13. Trends Earth	25
2.3. BASES LEGALES	25
CAPÍTULO III	27
MARCO METODOLÓGICO	27
3.1. Tipo de investigación	27
3.2. Diseño de la investigación	27
3.3. Unidad de estudio	27
3.4. Datos	28
3.5. Fases de la investigación	30
Fase I. Estudio de la degradación de la tierra con base en los cambios de la cobertura de la tierra en la cuenca del río Macapo, estado Cojedes	30
Fase II. Análisis de la degradación de la tierra a nivel de la productividad biológica en la cuenca del río Macapo, estado Cojedes	32
Fase III. Interpretación de la degradación de la tierra en la cuenca del río Macapo, estado Cojedes	36
CAPÍTULO IV	40
DESCRIPCIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	40
4.1. DINÁMICA DE LA TRANSICIÓN COBERTURA/USO DE LA TIERRA EN LA CUENCA DEL RÍO MACAPO	40
4.2. DEGRADACIÓN DE LA TIERRA A NIVEL DE LA PRODUCTIVIDAD BIOLÓGICA	44
4.2.1. Productividad de la tierra	44
4.3. CAMBIO DEL CARBONO ORGÁNICO EN EL SUELO EN EL PERÍODO ANALIZADO 2001-2020	46
4.4. DEGRADACIÓN DE LA TIERRA EN LA CUENCA DEL RÍO MACAPO, ODS 15 (INDICADOR 15.3.1)	47
CONCLUSIONES	50
RECOMENDACIONES	51
REFERENCIAS	52

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

TABLAS	pág
1. Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)	29
2. Humedad del suelo	29
3. Evapotranspiración	29
4. Mapa de Cobertura	29
5. Carbono del suelo	30
6. Zonas Agroecológicas	30
7. Dinámica de transición de coberturas	31
8. Agregación de Sub-indicadores de Productividad	36
9. Cambios de cobertura de la tierra para el período 2001-2020 por tipo de cobertura, año, área y cambios durante el periodo analizado	43
10. Productividad de la tierra en la cuenca del río Macapo	45
11. Cambio del carbono orgánico en el suelo en el período analizado 2001-2020	46
12. Resumen del indicador ODS 15.3.1	48

FIGURAS	pág
1. Espectro electromagnético	20
2. Cuenca del río Macapo	28
3. Análisis de la cobertura del terreno	31
4. Análisis de la Productividad - Trayectoria	33
5. Análisis de la Productividad – Estado	34
6. Análisis de la Productividad Rendimiento	35
7. Análisis de la degradación sobre la base del cambio en el stock de carbono orgánico	38
8. Coberturas y usos del suelo en la cuenca del río Macapo para el año 2020 según el producto global WorldCover 10m desarrollado por la ESA	41
9. Distribución de la elevación del terreno en la cuenca del río Macapo según el producto Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM)	42
10. Distribución de la pendiente del terreno en la cuenca del río Macapo según el producto SRTM	43
11. Dinámica de la productividad de la tierra en la cuenca del río Macapo	45
12. Indicador 15.3.1 en la cuenca del río Macapo	49

UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL
DE LOS LLANOS OCCIDENTALES EZEQUIEL ZAMORA
VICERRECTORADO DE INFRAESTRUCTURA Y PROCESOS INDUSTRIALES
PROGRAMA DE ESTUDIOS AVANZADOS
MAESTRÍA EN INGENIERIA AMBIENTAL

**ANÁLISIS DE LA DEGRADACIÓN DE LA TIERRA EN LA CUENCA DEL
RIO MACAPO, ESTADO COJEDES**

AUTOR: Carlos Cedeño

TUTOR: Dr. Franklin Javier Paredes Trejo

AÑO: 2023

RESUMEN

Se investigó la degradación de la tierra empleando datos obtenidos por percepción remota de la Plataforma Trends Earth, en la CRM, en la ventana temporal “2001-2020”. Se describió la dinámica del cambio cobertura-uso del suelo y se analizó la dinámica de la productividad de la tierra. Se usaron los datos de la plataforma Trends Earth. La metodología empleada es la que adopta la Convención de la Naciones Unidas para el Combate de Tierras Degradadas. Los principales resultados son: la razón cambio en el uso del suelo se presenta así: categoría Bosques presenta un cambio positivo de $0,24 \text{ Km}^2$ (2,44%) y la categoría cultivos presenta una merma de $-0,24 \text{ Km}^2$ (-2,60%). La dinámica de la degradación atribuida a la cobertura-uso del suelo, muestra que existe degradación en un área que asciende a $6,3 \text{ Km}^2$ (0,70%). La tasa de cambio total de carbono orgánico del suelo es de $-910,51 \text{ Ton}$. La productividad de la tierra (ODS 15.3.1) en la CRM alcanza un porcentaje que asciende a 11,59% de su área. Las principales conclusiones son: En un lapso de 20 años, en la CRM, la dinámica de cambio en la cobertura-uso del suelo se manifiesta así: la clase Bosques presenta un aumento mientras que la clase Pastizales se mantiene y la clase Cultivos disminuye en extensión. La dinámica de degradación atribuida a la productividad biológica muestra que las áreas de suelo con productividad degradada ascienden a $11,9 \text{ Km}^2$ (11,59%). La degradación de la productividad biológica de la tierra presenta un valor importante que asciende a $307,6 \text{ Km}^2$. La tasa de cambio total en el stock de carbono orgánico en el suelo es de $910,51 \text{ Ton}$. La dinámica integral de la degradación de la productividad de la tierra (ODS 15.3.1) en la CRM alcanza un porcentaje que asciende a 11,59% de su área.

Palabras clave: *Trends Earth, degradación, cobertura-uso del suelo, productividad biológica de la tierra, Cuenca del río Macapo.*

UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL
DE LOS LLANOS OCCIDENTALES EZEQUIEL ZAMORA
VICERRECTORADO DE INFRAESTRUCTURA Y PROCESOS INDUSTRIALES
PROGRAMA DE ESTUDIOS AVANZADOS
MAESTRÍA EN INGENIERIA AMBIENTAL

**ANALYSIS OF LAND DEGRADATION IN THE MACAPO RIVER BASIN,
COJEDES STATE**

AUTOR: Carlos Cedeño

TUTOR: Dr. Franklin Javier Paredes Trejo

AÑO: 2023

ABSTRACT

Land degradation was investigated using data obtained by remote sensing from the Trends Earth Platform, in the CRM, in the time window "2001-2020". The dynamics of land cover-use change were described and the dynamics of land productivity were analyzed. Data from the Trends Earth platform was used. The methodology used is the one adopted by the United Nations Convention to Combat Degraded Lands. The main results are: the change in land use ratio is presented as follows: Forests category presents a positive change of 0.24 km² (2.44%) and the crops category presents a decrease of -0.24 km² (-2.60%). The dynamics of degradation attributed to land cover-use shows that there is degradation in an area that amounts to 6.3 km² (0.70%). The total change rate of soil organic carbon is -910.51 tons. Land productivity (SDG 15.3.1) in the MCA reaches a percentage that amounts to 11.59% of its area. The main conclusions are: In a period of 20 years, in the MCA, the dynamics of change in land cover-use is manifested as follows: the Forests class presents an increase while the Grasslands class is maintained and the Crops class decreases in extension. The degradation dynamics attributed to biological productivity shows that the soil areas with degraded productivity amount to 11.9 km² (11.59%). The degradation of the biological productivity of the land presents an important value that amounts to 307.6 km². The total change rate in the stock of organic carbon in the soil is 910.51 tons. The integral dynamics of land productivity degradation (SDG 15.3.1) in the MCA reaches a percentage that amounts to 11.59% of its area.

Keywords: *Trends Earth, degradation, land cover-use, biological productivity of the land, Macapo River Basin.*

INTRODUCCIÓN

La degradación de las tierras bajo el enfoque de la Convención de Naciones Unidas de Lucha Contra la Desertificación (UNCCD, por sus siglas en inglés) (2013a,b, citado por López, 2016) se define como:

“pérdida o reducción en zonas áridas, semiáridas y sub - húmedas, de la productividad biológica y económica, de la agricultura de temporal y de riego, agostaderos, tierras forestales y bosques, resultado de los usos de la tierra o una combinación de procesos, incluyendo aquellos derivados de actividades humanas y patrones de poblamiento que habitualmente producen: 1) Erosión del suelo por agua o viento; 2) Deterioro de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo; y 3) Pérdida de la vegetación a largo plazo.”

La UNCCD (2013a), menciona además que la degradación es resultado de dos factores primordiales: variaciones climáticas (VC) de larga y corta duración y actividades humanas (AH); las VC de corta duración se distinguen por sequías y ondas de calor, afectando de diversas formas la estabilidad y resiliencia de los sistemas socio-ecológicos (SSE); en tanto que las AH caracterizadas por los cambios en el uso del suelo mediante prácticas de deforestación para dar paso a la agricultura, ganadería y la urbanización. Parte de esta problemática se ha condensado en los SSE de las tierras secas, las cuales ocupan aproximadamente el 45% de la superficie del planeta donde habitan alrededor de 2 mil millones de personas, representando el 33.8% de la población mundial (Al-Kaisi et al., 2012; Cruse, 2012; UNCCD, 2013b). A menudo la degradación de las tierras es causada por acciones humanas, viéndose exacerbada por procesos naturales como el cambio climático. Cerca del 25% de la superficie cultivable global se considera degradada; aproximadamente 12 millones de hectáreas se suman cada año al área total de tierra degradada. Los costos económicos de la degradación de las tierras se estiman en 490.000 millones de USD anuales, lo que constituye un seis por ciento del producto interno bruto derivado de la agricultura a nivel mundial (UNCCD, 2016).

Bajo este contexto, fue que en 1994 se creó la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (UNCCD), en reconocimiento de la desertificación, la degradación de las tierras y la sequía (DDTS) como problemas ambientales y de

desarrollo de importancia mundial. Fue ratificada por 195 Estados miembros de las Naciones Unidas y una organización de integración económica regional (la Unión Europea). Su principal misión es:

“proporcionar un marco mundial para apoyar la elaboración y ejecución de políticas, programas y medidas nacionales y regionales para prevenir, controlar y revertir la desertificación y la degradación de las tierras y mitigar los efectos de la sequía mediante la excelencia científica y tecnológica, la sensibilización del público, el establecimiento de normas, la labor de promoción y la movilización de recursos, contribuyendo de esa forma a la reducción de la pobreza”.

Es importante mencionar, que después de aprobarse los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) y la declaración del Decenio de las Naciones Unidas para los Desiertos y la Lucha contra la Desertificación (2010-2020) en septiembre de 2015, la comunidad global llegó a un acuerdo sobre la “Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible”, en la cual se incluyen 17 objetivos de desarrollo sostenible (ODS) y 169 metas (Naciones Unidas, 2015). El objetivo 15 insta a los países a proteger, restablecer y promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres, efectuar una gestión sostenible de los bosques, luchar contra la desertificación, detener y revertir la degradación de las tierras y poner freno a la pérdida de la diversidad biológica.

La meta 15.3 se centra en “luchar contra la desertificación, rehabilitar las tierras y los suelos degradados, incluidas las tierras afectadas por la desertificación, la sequía y las inundaciones, y procurar lograr un mundo con una degradación neutra del suelo” para 2030. El indicador adoptado para medir los resultados obtenidos en la meta 15.3 del ODS consiste en la “Proporción de tierra degradada en relación a la superficie total de tierra”. El seguimiento de este indicador se basa en el uso combinado de tres sub-indicadores, los cuales son: cobertura vegetal, productividad de la tierra y reservas de carbono en superficie y suelo.

En Venezuela resulta interesante producir trabajos científicos sobre la degradación de la tierra tanto en cuencas hidrográficas de interés nacional, regional y local, como en áreas bajo régimen de administración especial (ABRAES), a los fines de poder contribuir con las metas de la agenda 2030 y los ODS, es especial el ODS 15,

tomando en consideración la meta 15.3. Las consideraciones planteadas, motivan el interés central de la presente investigación, la cual es analizar la degradación de la tierra en la cuenca del río Macapo, estado Cojedes.

En tal sentido, este documento se estructura de la siguiente manera: el Capítulo 1 se concentra en el planteamiento del problema, la justificación y los objetivos de la investigación; el Capítulo 2 trata de los antecedentes de la investigación y los fundamentos teóricos; el Capítulo 3 detalla los aspectos metodológicos; en el Capítulo 4 se describe y discuten brevemente los resultados; por último, se presentan las conclusiones, recomendaciones y la bibliografía.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Aproximadamente una cuarta parte de la superficie terrestre sin hielo de la Tierra está sujeta a degradación inducida por el hombre (nivel de confianza medio). Se estima que la erosión del suelo de los campos agrícolas es actualmente de 10 a 20 veces (sin labranza) a más de 100 veces (labranza convencional) más alta que la tasa de formación del suelo (confianza media) (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2019).

En la actualidad el 23% de la superficie del planeta presenta algún grado de degradación con tasas estimadas entre 5-10 millones de hectáreas, afectando alrededor de 1500 millones de personas a nivel mundial (Stavi y Lal, 2014). El origen de ésta problemática es multifactorial (actividades humanas, variaciones climáticas, cambios/evolución de la naturaleza) y al mismo tiempo multifacético (ambiental, productiva, social, etc.), donde se combinan con distinto orden y magnitud: las políticas públicas (gobernanza), la cultura de uso, manejo y protección de los recursos naturales, el medioambiente, las características biofísicas del territorio y la variabilidad climática (Grainger, 2015; Gnacadja, 2015; UNCCD, 2015).

Entre los años 70's y 90's del Siglo XX se identificaron y reconocieron por su magnitud a nivel global cuatro tipos de degradación de las tierras en su componente edáfico: 1) erosión hídrica (10.9×10^8 ha); 2) erosión eólica (5.5×10^8 ha); 3) degradación física (2.4×10^8 ha); y 4) degradación química (0.8×10^8 ha); magnitudes que varían de un país a otro (Gnacadja, 2012, citado por López, 2016). En el reporte más reciente de Nkonya et al. (2011), sobre la valoración de la degradación global de las tierras (GLADA, por sus siglas en inglés), este problema se estima en alrededor de 1964 millones de hectáreas, superficie en la que contribuyen en mayor medida (83.6%) los dos tipos de erosión mencionadas: hídrica y eólica, con el 55.7 y 27.9%, respectivamente; enseguida con el 15.9% se encuentran la química y física con 11.8 y 4.02%, respectivamente.

La regiones que presentan los mayores impactos en este sentido son por orden de importancia: Asia, 38%; África, 25.2%; América Latina, 15.6%; y Europa, 11.3%; las regiones con el menor grado de degradación de sus territorios son: Australia-Pacífico, 5.2%; y América del Norte, 4.9% (López, citado). Aunado a lo anterior, Stavi y Lal (2014) señalan que la degradación de la tierra al sumar los cuatro valores relativos de severidad definidos (ligera, moderada, severa y muy severa) en éste mismo reporte GLADA muestran que de mayor a menor grado se encuentran: Europa 91%; Centro y Sudamérica 77%; Asia-Pacífico 73%; África, Norte y medio Este 71%; África Sub-Sahara 67%, Norte América 48% y Norte de Asia 47%; de los que destacan por el grado de severidad de degradación de la tierra los países africanos ubicados en alrededor del desierto del Sahara.

Por otro lado, según la UNCCD (2013b) en el transcurso de una década 2000-2010 se han registrado temperaturas extremas con más frecuencia. Por ejemplo, en China, más de 400 millones de habitantes se ven afectados por la desertificación, que genera una pérdida económica directa anual superior a 10 mil millones de dólares americanos (USD), en tanto que en la India, las pérdidas debidas a la erosión se multiplicaron por seis entre 1989 y 1994; para ilustrar situaciones críticas ocurridas y que podrían repetirse con más frecuencia véase la información reportada por este organismo internacional que presenta casos extremos en varias regiones del mundo con alteraciones ligadas a las altas temperaturas y sequías, cuyos costos tienden a ser altos.

En el caso venezolano, es importante remarcar que en el estado Carabobo, existe degradación asociada cambios en la cobertura de la tierra que asciende a 9,20% del área total del estado en el período 2000-2015 (Linares, 2022).

Con respecto al estado Cojedes, Casadiego (2023) reporta para el Parque Nacional “General Manuel Manrique” (PNGMM), que la dinámica de la degradación atribuida a la cobertura-uso del suelo, asciende a un área de 6,3 Km² (0,70%; del área total del Parque), mientras que la degradación atribuida a la dinámica de la productividad biológica de la tierra asciende a 34% del área del Parque. Todo esto ha ocurrido en un lapso de tiempo de 21 años. Es importante señalar que el PNGMM es un Área Bajo

Régimen de Administración Especial, de gran interés para el estado Cojedes ya que es calificada como zona protectora de fuentes de aguas superficial (por ejemplo río Tirgua).

Igualmente, Rumbo y Paredes (2023), encontraron que la dinámica de la productividad biológica de la tierra (LPD) en la CRT, muestra que existe degradación en un área de 206,507 Km² (5,703%); mientras que concurre degradación o declinación incipiente en un área de 354,747 Km² (9,797%).

En el mismo orden de ideas, en la cuenca del río Tinaco (CRT) Rumbo y Paredes, (2021) reportan que los años con los mayores registros de temperatura superficial media son: 2001, 2010, 2014 y 2015, afirmando además que son años donde se han presentado fuertes sequías.

Estos resultados vislumbran la necesidad de acometer estudios de esta naturaleza a los fines de poder generar información de línea base que contribuya a la elaboración de planes de recuperación de cuencas sostenibles en el tiempo y con capacidad de resiliencia ante el cambio climático.

En el mismo contexto, Cruse (2012) al referirse al tema de los impactos del cambio climático en la agricultura, menciona que: "...en tales circunstancias debe haber una mejora de los cultivos, no solo para sobrevivir en tales condiciones, sino producir durante un período significativo del ciclo de vida, siendo cada vez más importante, y al mismo tiempo también un reto increíble"; situación en la que otros investigadores han puesto especial atención ante la severidad de la sequía en años recientes (Al-Kaisi et al., 2012; Lal et al., 2012).

En el transcurso del presente siglo habrá cambios importantes en los sistemas hidrológicos en todo el mundo, en la partes altas de las cuencas se pronostican aumentos en las escorrentías por la presencia de lluvias más intensas y el derretimiento de los cuerpos de nieve y hielo, mientras que en las parte bajas la tendencia es hacia la escasez de agua por la disminución del flujo natural de los ríos, disminución que pondrá en fuerte competencia los diferentes usos de la tierra (Zhou et al., 2010), donde se sabe que la agricultura bajo riego globalmente extrae alrededor del 74%, de la que el 90% se evapora como consecuencia de su mismo uso (uso

consuntivo); de tal manera que la agricultura sujeta a la irrigación se verá más afectada (IPCC, 2007; Gudmundsson et al., 2011; IPCC, 2012).

Los cambios tanto en los patrones de las lluvias, como en las escorrentías en términos de la disponibilidad de agua, plantea situaciones aún más críticas a nivel global, ya que alrededor del 80% de la población mundial (7.4 mil millones en 2016) vive en zonas donde el suministro de agua dulce no es seguro (Black, 2010). Normalmente, son zonas en las que se encuentran los hogares más pobres y vulnerables de los países en desarrollo quienes más sufren los impactos de la variabilidad climática. A escala mundial existe una correlación directa entre la pobreza y la degradación de las tierras. En torno al 42% de los pobres de todo el mundo hay zonas degradadas y marginales para su sustento, en comparación con el 32% de los moderadamente pobres y el 15% del resto de la población (UNCCD, 2013b).

Bajo todo este contexto, es importante reconocer la importancia que recae sobre la cuenca del río Macapo, ubicada en el estado Cojedes, la cual se enfrenta a un preocupante proceso de degradación de la tierra que amenaza la integridad de sus recursos naturales y pone en riesgo la sustentabilidad de la región. La degradación del suelo, la deforestación, la contaminación del agua y otros impactos ambientales están afectando negativamente el ecosistema y generando consecuencias adversas para las comunidades locales.

La actividad agrícola no sostenible, la expansión urbana no planificada, la explotación minera y otros factores antropogénicos, sumados al cambio climático y la falta de políticas de conservación adecuadas, han contribuido a acelerar el proceso de degradación en la cuenca del río Macapo. Estos fenómenos han ocasionado la erosión del suelo, la pérdida de biodiversidad, la disminución de la calidad del agua y la pérdida de servicios ecosistémicos vitales.

Ante este escenario, es necesario realizar un análisis exhaustivo de la degradación de la tierra en la cuenca del río Macapo con el objetivo de comprender los factores subyacentes que contribuyen a este proceso y proponer estrategias de conservación y recuperación ambiental. Es esencial contar con información precisa y actualizada

sobre los procesos de degradación, los impactos presentes y potenciales, así como las posibles medidas para revertir esta situación.

Estas consideraciones motivan el interés principal de la investigación, cuyo objetivo central es estudiar la degradación de la tierra en la cuenca del río Macapo. Sus hallazgos coadyuvarían a fortalecer el proceso de toma de decisiones relacionado con el manejo sostenible de la cuenca. En tal sentido, las siguientes se plantean como interrogantes de investigación: ¿existirán procesos de degradación de la tierra asociados a los cambios de cobertura en la cuenca del río Macapo?; y de ser así, en ¿qué regiones de la cuenca este fenómeno es más crítico?; y bajo este mismo contexto, ¿cómo se ve afectada la productividad biológica de la tierra en la cuenca?; por último ¿cuál será la magnitud de la degradación integral de la tierra en la cuenca del río Macapo?.

1.2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1. Objetivo general

Analizar la degradación de la tierra en la cuenca del río Macapo, estado Cojedes.

1.2.2. Objetivos específicos

Estudiar la degradación de la tierra con base en los cambios de la cobertura de la tierra en la cuenca del río Macapo, estado Cojedes.

Analizar la degradación de la tierra a nivel de la productividad biológica en la cuenca del río Macapo, estado Cojedes.

Interpretar la degradación de la tierra en la cuenca del río Macapo, estado Cojedes.

1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La cuenca del río Macapo es fundamental en el desarrollo del municipio Lima Blanco del estado Cojedes, constituye la principal fuente de agua superficial, en tal sentido la presente investigación se justifica ya que permitió generar información valiosa para apoyar la toma de decisiones en materia de gestión ambiental por parte del Ministerio del Poder Popular para las Aguas, nivel central.

El análisis de la degradación de la tierra en la cuenca del río Macapo, a su vez permitirá desarrollar un enfoque integral que involucre a las comunidades locales, las instituciones gubernamentales y otras partes interesadas en la implementación de medidas de conservación. Además, se podrán establecer bases sólidas para la toma de decisiones informadas en materia de gestión ambiental, promoviendo la protección de los recursos naturales, la sostenibilidad agrícola y el bienestar de las comunidades que dependen de la cuenca del río Macapo.

De igual manera, la investigación guarda relación con las prioridades establecidas por el Ministerio del Poder Popular para la Educación Universitaria, Ciencia y Tecnología, que considera importante el área de Ambiente, en especial, si ésta se vincula estrechamente al componente social. Nótese además, que este proyecto de investigación promueve indirectamente una vinculación social significativa entre la Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales “Ezequiel Zamora” y las comunidades localizadas en la cuenca del río Macapo, pues se está haciendo frente a un problema inherente al área de gestión ambiental.

En otro orden de ideas, la investigación, tuvo por objeto proveer una metódica para afrontar el problema de pérdida de cobertura vegetal, inducida por los manejos inadecuados en la cuenca. La metódica que se aplicó en este estudio, puede ser replicada en otras cuencas del estado Cojedes y Venezuela donde se presuman los mismos problemas, y donde se pretendan crear planes de conservación de suelos y aguas a largo plazo.

Con respecto a las líneas de creación intelectual (LCI) prioritarias de la UNELLEZ, para el período 2020-2025, la investigación encuentra plena justificación ya que brinda información muy relacionada a contribuir con la generación de conocimiento ligado a las siguientes líneas de creación intelectual: 1) Pobreza; 3) Ambiente y Agroclimatología; 13) Sustrato y estudio de suelo; 17) Agua y manejo de recursos hídricos y sistemas de riego; 25) Biodiversidad y sistemas productivos venezolanos.

Por último, en el aspecto técnico la investigación planteó la implementación de tecnologías novedosas, que tienen que ver con el uso de sensores remotos para la obtención de datos de interés para los análisis realizados.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. A nivel internacional

En lo sucesivo, se muestran algunos trabajos publicados en el ámbito internacional que tienen relación con el interés de investigación del presente trabajo y que constituyen un aporte significativo al logro de los objetivos que se plantearon.

Easdale et al., (2019) en su investigación “Ciclos de tendencia de la dinámica de la vegetación como herramienta para la evaluación y el seguimiento de la degradación de la tierra”, demostraron la importancia del uso de la técnica “Tendencia-ciclo” para evaluar la degradación de la tierra. Es un análisis de series de tiempo que representa una versión suavizada de una serie de tiempo ajustada estacionalmente, que proporciona información sobre movimientos a largo plazo al tiempo que incluye cambios en la dirección subyacente a la serie. El estudio evaluó los ciclos de tendencia del NDVI en la Patagonia (Argentina) como indicadores de la dinámica de la tierra, integrando tendencia y ciclos de media no plazo (>4 años).

Se usaron imágenes MODIS entre los años 2000 y mediados de 2018; Los ciclos de tendencia se analizaron utilizando el método Basis Pursuit. Se observó que los ciclos de tendencia explicaban una parte significativa de la variabilidad temporal total (alcanzando casi el 20%), de los cuales la mayoría de los patrones se explicaban por un comportamiento no monótono. Se identificó cinco patrones principales en la dinámica de la vegetación: disminución (0,1 % del área), aumento (0,6 %), recuperación (48,8 %), reincidencia (36,8 %) y sin ciclo de tendencia (13,8 %). Contrariamente a lo que generalmente se ve en la literatura, los patrones monótonos y particularmente los ciclos de tendencia decreciente se registraron marginalmente en los últimos 18 años de registros de NDVI en la Patagonia. En cambio, la mayor proporción del área se clasificó como recuperación inicial o avanzada y patrones iniciales de recaída, que se refieren a fases de un comportamiento cíclico. Los autores hacen un llamado a la necesidad de revisar la conceptualización de la evaluación de la

degradación de la tierra por medio de sensores remotos, y revisar críticamente la capacidad de las tendencias lineales para reflejar la dinámica de la vegetación. Finalmente, los autores reconocen el uso potencial de tendencia-ciclo como una herramienta para monitorear la dinámica de la tierra y el progreso hacia la neutralidad de la degradación de la tierra.

En el mismo contexto, Cascante, Andrade y Reyes (2019), determinaron zonas susceptibles al fenómeno de desertificación en el cantón Ibarra, provincia de Imbabura, Ecuador. El estudio se enfocó en la degradación de la tierra en zonas secas, en las cuales se produce el fenómeno de desertificación, uno de los problemas más serios de la región. Los autores explican que estudios realizados entre el Ministerio del Ambiente de Ecuador y el Ministerio de Agricultura y Ganadería determinaron que el 47% de los suelos del Ecuador se encuentran en procesos de degradación. Sin embargo, es un concepto desconocido para la mayoría o, al menos, no se es consciente de la dimensión del problema.

El objetivo de este trabajo fue determinar las zonas susceptibles al fenómeno de la desertificación en el cantón Ibarra, a través del uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y la aplicación de la metodología desarrollada por la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional, adaptada a la información de variables físicas (textura, pendiente) y climáticas (precipitación, evapotranspiración potencial) que se encuentran en el Ecuador. La zonificación realizada determinó que el 35 % del área total del cantón (109.705,29 ha) tiene una susceptibilidad a la desertificación media a alta, esto se debe, principalmente, a la deforestación por el avance de la frontera agrícola y la utilización de técnicas intensivas en la agricultura; mientras que el 44 % presentan baja susceptibilidad al fenómeno de la desertificación y únicamente el 21 % de la superficie presenta susceptibilidad nula.

En el mismo orden de ideas, se tienen los aportes realizados por Colina, Machín y Reyes, (2016), en su trabajo “Cartografía de la degradación de tierras en el ecosistema Sabana - Camaguey (ESC). Cuba”. El trabajo tuvo como objetivo exponer las experiencias en la modelación espacial de la evaluación de la degradación de tierras en el Ecosistema Sabana - Camagüey, derivado de la aplicación de la

metodología WOCAT-LADA que facilitó la cartografía del fenómeno anteriormente mencionado a través de los indicadores de estado, presión, impacto y respuesta. Entre los resultados obtenidos destaca un conjunto de 15 mapas temáticos, que identifican no sólo el tipo, intensidad y tendencia de la degradación sino que proporcionan además la vinculación con las actividades de conservación.

Los autores afirman que el seguimiento del comportamiento espacial de los procesos de degradación de los sistemas de uso de la tierra (SUT) definidos, contribuye a la lucha contra la desertificación, invierte los procesos de degradación de tierras y frena la pérdida de la diversidad biológica. La implementación sistemática de la metodología constituye una herramienta para el seguimiento, monitoreo y alerta sobre los procesos de degradación de tierras y en la evaluación de la efectividad de los mecanismos y medidas de conservación en la dimensión espacio-temporal de los ecosistemas terrestres del ESC.

Asimismo Liu et al., (2020), realizaron una investigación titulada “Cambios en el uso y cobertura de la tierra y sus factores impulsores en la meseta Tibetana Nororiental basados en detectores geográficos y Google Earth Engine: un estudio de caso en la prefectura de Gannan”. Los investigadores indican que la meseta Tibetana Nororiental ha experimentado cambios dramáticos en el uso y cobertura de la tierra (LULC) con el aumento de las actividades humanas y el cambio climático continuo. Sin embargo, la extensa cobertura de nubes limita la capacidad de los satélites ópticos de detección remota para monitorear con precisión los cambios de LULC en esta área. Para superar este problema en el mapeo LULC en la prefectura de Ganan, 2000-2018, se utilizó el apilamiento de tiempo denso de imágenes Landsat multitemporales y un algoritmo de bosque aleatorio basado en la plataforma Google Earth Engine (GEE). Se analizaron las tendencias dinámicas de los cambios de LULC y los detectores geográficos evaluaron cuantitativamente los factores impulsores clave de estos cambios.

Los resultados mostraron que: (1) la precisión general de la clasificación varió entre el 89,14 % y el 91,41 %, y los valores kappa fueron superiores al 86,55 %, lo que indica que los resultados de la clasificación fueron confiablemente precisos. (2) Los

principales tipos de LULC en el área de estudio fueron pastizales y bosques, y su área representó el 50 % y el 25 %, respectivamente. Durante el período de estudio, el área de pastizales disminuyó, mientras que el área de terrenos forestales y de construcción aumentó en diversos grados. La intensidad de uso del suelo presenta una intensidad multinivel, y fue mayor en el noreste que en el suroeste. (3) La elevación y la densidad de población fueron los principales factores impulsores de los cambios de LULC, y el desarrollo económico también ha afectado significativamente a LULC. Estos hallazgos revelaron los principales factores que impulsan los cambios de LULC en la prefectura de Gannan y proporcionaron una referencia para ayudar en el desarrollo de decisiones políticas de gestión sostenible de la tierra y protección ecológica.

Es importante comentar, que Chen et al., (2021) en su trabajo titulado “Monitoreo de la dinámica espacio-temporal de la desertificación eólica utilizando Google Earth Engine”, mencionan que el norte de China ha estado amenazado durante mucho tiempo por la desertificación eólica. Argumentan además que en los últimos años, todos los niveles del gobierno chino han llevado a cabo una serie de proyectos de protección ecológica y control de arena. Para comprender los efectos de implementación de estos proyectos y ajustar las políticas a tiempo, ha sido necesario comprender el proceso de desertificación eólica de manera rápida y precisa. En este sentido, las tecnologías de teledetección juegan un papel insustituible en el seguimiento de la desertificación eólica.

En el estudio, el Zhenglan Banner, que se encuentra en el interior de Hunshandake Sandy Land, se consideró como el área de investigación. Con base en imágenes de vehículos aéreos no tripulados (UAV), datos de levantamientos terrestres e imágenes Landsat llamadas en Google Earth Engine (GEE), la tierra desertificada eólica (ADL) en 2000, 2004, 2010, 2015 y 2019 se extrajo mediante análisis de mezcla espectral. Se construyó un índice de desertificación (DI) para evaluar la dinámica espacial y temporal de la ADL en Zhenglan Banner.

Finalmente, un análisis residual exploró las fuerzas impulsoras de la desertificación eólica. Los resultados mostraron que (1) el área ADL en Zhenglan Banner ha tenido

una tendencia a la baja durante los últimos 20 años, pero se recuperó de 2004 a 2010; (2) en los últimos 20 años, el área de tierra leve, moderada y severamente desertificada ha disminuido a tasas anuales de 0.4%, 2.7% y 3.4%, respectivamente; (3) las actividades humanas tuvieron impactos significativamente positivos y negativos en la tendencia de la desertificación eólica para el 20,0% y el 21,0% del área de estudio, respectivamente, pero no para el resto. El trabajo exploró nuevas técnicas para el monitoreo rápido de la desertificación eólica y es de gran importancia para controlar y gestionar la desertificación eólica en esta región.

Por otro lado, Dubertret, Le Tourneau, Villarreal y Norman (2022), realizaron un trabajo titulado “Monitoreo del cambio anual de uso de la tierra y cobertura de la tierra en el área metropolitana de Tucson con Google Earth Engine (1986–2020)”. Los autores argumentan que el área metropolitana de Tucson, ubicada en el desierto de Sonora en el sureste de Arizona (EE. UU.), se ve afectada tanto por el crecimiento masivo de la población como por el rápido cambio climático, lo que resulta en cambios importantes en el uso y la cobertura terrestre (LULC, por sus siglas en inglés). Dado que su frágil ecosistema árido y sus escasos recursos están cada vez más bajo presión, existió la necesidad crucial de monitorear tales transformaciones del paisaje. Para tales fines, propusieron un método para calcular mapas LULC de resolución de 30 m anuales de la región desde 1986 hasta 2020, utilizando una combinación de imágenes Landsat, transformación e índices derivados, análisis de textura y otros datos auxiliares alimentados a un clasificador basado en árboles de decisión. Todo el proceso se alojó en Google Earth Engine con capacidades informáticas tremendas que permitieron procesar una gran cantidad de datos y lograr una alta precisión de clasificación general para cada año, que va del 86,7 al 96,3 %. También se utilizaron técnicas conservadoras de posprocesamiento para mitigar las confusiones persistentes entre las numerosas casas aisladas de la región y su entorno desértico y para suavizar los cambios de LULC específicos del año a fin de identificar tendencias generales. Luego indicaron que las políticas para disminuir la expansión urbana en el área tuvieron pocos efectos y se brinda una herramienta automatizada para continuar monitoreando dicha dinámica en el futuro.

Las investigaciones reseñadas guardan estrecha relación con la actual en el sentido de perseguir objetivos similares que tienen que ver con la evaluación de la degradación de la tierra en la cuenca del río Macapo.

2.1.2. A nivel nacional

A continuación, se presentan trabajos publicados en el ámbito nacional que tienen relación con el interés de investigación del presente trabajo y que constituyen un aporte significativo al logro de los objetivos que se plantearon.

Mogollón, Rivas, Rivas y Martínez (2017), estudiaron los procesos de degradación de suelos asociados a la desertificación en la península de Paraguaná, Venezuela. La metodología consistió en recopilación de información documental y de campo de cada uno de las variables relacionadas a los procesos mencionados. Una alta proporción de los suelos del municipio presenta problemas de ligera salinidad (54% del territorio) y un 27% son suelos salinos. El cambio de uso de la tierra generó un efecto significativo en la reducción de la materia orgánica del suelo, siendo el uso bajo cultivo de melón el que produjo mayores valores de pérdida en este parámetro, las cuales estuvieron entre un 50 a un 70% en tiempos relativamente cortos, de 15 a 20 años.

La erosionabilidad del suelo presentó valores moderadamente altos (mayores a 0,03 t.ha.h.MJ-1. ha-1.mm-1), lo cual expresa la susceptibilidad del suelo a ser separado y transportado por la lluvia y el flujo superficial.

Igualmente se reconoce los aportes realizados por Olivares, López y Lobo (2019) en su trabajo titulado “Cambios de usos de suelo y vegetación en la comunidad agraria Kashaama, Anzoátegui, Venezuela: 2001-2013”, afirman que los cambios en el uso de suelo y vegetación que soporta la tierra son cada vez más relevantes para poder comprender los elementos de roce entre las comunidades agrícolas y los ecosistemas terrestres que les sirven de soporte. El objetivo del estudio fue analizar los cambios de usos de suelo y vegetación en la comunidad indígena Kashaama, estado Anzoátegui, Venezuela.

Se utilizaron imágenes digitales derivadas de un espectroradiómetro para imágenes de resolución moderada (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer - MODIS)

que contienen información sobre las diferentes coberturas de uso de la tierra y vegetación, para los años 2001 y 2013. La comunidad indígena estudiada presentó un proceso significativo de transformación de la cobertura vegetal a usos antrópicos del suelo, poniendo en riesgo los bienes y servicios ecosistémicos para la población.

En el mismo contexto, es importante mencionar los aportes realizados por Linares (2022) en su Tesis Doctoral titulada “Dinámica Espacio Temporal de las tendencias de degradación del suelo en el estado Carabobo usando percepción remota”. El objetivo del estudio fue analizar la multitemporalidad (2000-2015) de la Cobertura de la Tierra (LC), la Dinámica de Productividad Neta (PPN) y la reserva de Carbono Orgánico del Suelo (COS), en el estado Carabobo, aplicando la metodología no experimental y descriptiva que identifica y evalúa la Proporción Total de Tierra Degradada del Indicador 15.3.1 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible según la UNCCD para la Agenda 2030.

Para ello, se utilizaron las series de datos predeterminados (2000-2015) del Nivel 1, apoyado con las imágenes satelitales de resolución espacial con precisión adecuada y procesada con la herramienta trends.earth del software QGIS, para el mapeo y estimación de datos de cambios. Sus principales hallazgos muestran que un 53,19% de superficie del estado Carabobo ha permanecido “estable” o “sin cambios”, mientras que un 9,20% ha presentado una “degradación” o pérdida en la cobertura de la superficie. Adicionalmente, presentó una “mejoría” del 36,63% durante el periodo de reporte del estudio.

Rumbo y Paredes (2023), estudiaron la productividad biológica de la tierra en la cuenca del río Tinaco (CRT), estado Cojedes, encontrando que al integrar las tres métricas: trayectoria, estado y rendimiento se obtuvo la dinámica global de la productividad de la tierra en el período 2001-2020, el área de la cuenca que se encuentra declinando corresponde a 206,507 Km² (5,703%), existe declinación incipiente en un área de 354,747 Km² (9,797%), las zonas estables pero con una condición de estrés alcanzan un área de 1,163 Km² (0,032%); las zonas estables presentan un área de 1.789.404 Km² (49.416%) y las zonas que están mejorando su condición de productividad logran un área de 1.266.647 Km² (34.98%). La principal

conclusión es que existe degradación en un área de 206,507 Km² (5,703%); mientras que concurre degradación o declinación incipiente en un área de 354,747 Km² (9,797%).

Igualmente es plausible comentar los hallazgos realizados por Casadiego (2023), en su trabajo “Estudio de la degradación de la tierra en el PNGMM del municipio San Carlos, estado Cojedes”, entre los que destacan: 1) la razón cambio en el uso del suelo se presenta así: los bosques aumentan (27,84 Km²), los pastizales (-2,63 Km²) y los cultivos (-25,27 Km²) disminuyen; 2) la dinámica de la degradación atribuida a la cobertura-uso del suelo, muestra que existe degradación en un área que asciende a 6,3 Km² (0,70%); mientras que la degradación atribuida a la dinámica de la productividad biológica de la tierra asciende a 34% del área del parque.

Entre las principales conclusiones se destacan: en un lapso de 21 años, en el PNGMM la dinámica de cambio en la cobertura-uso del suelo se manifiesta así: la clase Bosques presenta un aumento mientras que las clases Pastizales y Cultivos disminuyen en extensión; la degradación de la productividad biológica de la tierra presenta un valor importante que asciende a 307,6 Km².

2.2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

A continuación se presentan una serie de conceptos relacionados con los principales objetivos que se plantearon en esta investigación y que ayudan a la comprensión de la temática abordada.

2.2.1. Percepción remota

Es una técnica de obtención de imágenes de los objetos de la superficie de la Tierra sin un contacto físico de cualquier especie entre el sensor y el objeto. La principal condición impuesta por esta definición clásica, es que el sensor debe estar a una distancia alejada del objeto, y a su vez establece las siguientes bases para la definición de percepción remota: no importa en el espacio entre el objeto y el sensor; la información captada del objeto puede ser transportada por el espacio vacío; y el enlace de comunicación entre el objeto y el sensor es una radiación electromagnética,

siendo ésta la única forma de energía que puede ser transportado a través del espacio (Meneses y Almeida, 2012).

Sobre la base de estos principios, una definición más científica que se puede dar a la percepción remota es: “ciencia que tiene como objetivo el desarrollo de la formación de imágenes de la superficie de la tierra mediante la detección y la medición cuantitativa de los efectos de interacción de la radiación electromagnética con materiales de la tierra” (Meneses y Almeida, Op. Cit.).

2.2.2. El espectro electromagnético

Los ojos de los seres humanos se pueden considerar como sensores remotos ya que detectan la luz reflejada por los objetos de nuestro entorno. Sin embargo, la visión humana sólo es capaz de percibir una pequeña parte del espectro electromagnético, el visible. La luz visible es sólo una de las muchas formas de radiación electromagnética que existen. Así, las ondas de radio, el calor, los rayos ultravioleta o los rayos X son otras formas comunes. En teledetección, lo normal es caracterizar a las ondas electromagnéticas por su longitud de onda en micrómetros (μm , 10 m) o nanómetros (nm, 10 m), es decir, por la posición que ocupan dentro del espectro electromagnético (Labrador et. al., 2012).

En tal sentido quedan definidas varias regiones del espectro. Aunque por conveniencia se le asignan diferentes nombres a estas regiones (ultravioleta, visible, infrarrojo, microondas, etc.), no existen divisiones exactas entre unas y otras (Figura 1). Los sensores montados a bordo de los satélites de teledetección son capaces de detectar y grabar radiaciones de las regiones no visibles del espectro electromagnético, desde el ultravioleta hasta las microondas.

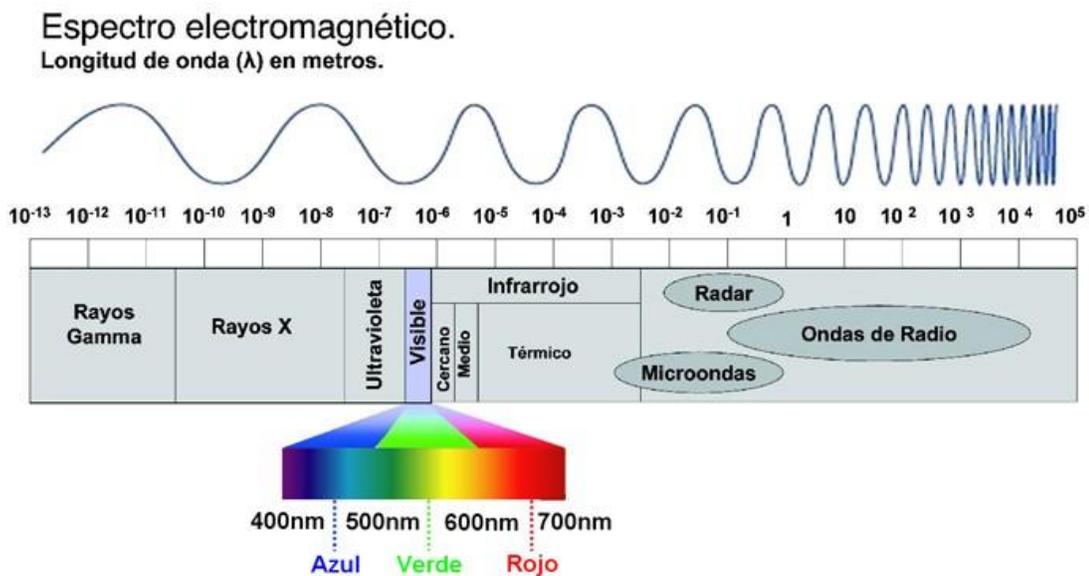


Figura 1. Espectro electromagnético
Adaptado de: Labrador et al. (2012)

El visible (VIS) es una pequeña región del espectro electromagnético que apenas abarca desde los $0.4 \mu\text{m}$ hasta los $0.7 \mu\text{m}$. El color azul iría desde 0.4 hasta $0.5 \mu\text{m}$, el verde desde $0.5 \mu\text{m}$ hasta $0.6 \mu\text{m}$ y el rojo de $0.6 \mu\text{m}$ a $0.7 \mu\text{m}$. La energía ultravioleta (UV) se encuentra inmediatamente por debajo del color azul. Por encima del rojo se sitúa la región infrarroja (IR), que a su vez está dividida en tres categorías: IR próximo (NIR) ($0.7 - 1.3 \mu\text{m}$), IR medio (SWIR) ($1.3 - 3 \mu\text{m}$) e IR térmico (TIR) ($3 - 100 \mu\text{m}$). La porción de microondas se encuentra más allá del IR, a longitudes de onda mucho más grandes ($1 \text{ mm} - 1 \text{ m}$), que son las longitudes de onda más largas usadas en teledetección. De éstas, las más cortas tienen propiedades similares al IR térmico, mientras que las restantes son similares a las usadas en comunicaciones.

2.2.2. Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)

Fue introducido por Rouse et. al., (1974), para producir un índice espectral que separa la vegetación verde del suelo utilizando datos digitales del LANDSAT MSS (Ormeño, 2006). Éste se expresa como la diferencia entre la banda infrarroja cercana y roja normalizada por la suma de esas bandas, es decir:

$$\text{NDVI} = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad (1)$$

Dónde: NIR, banda infrarroja cercana; RED, banda roja normalizada.

Es el índice más comúnmente usado porque retiene la habilidad para minimizar los efectos topográficos y a su vez producir una escala de medida lineal. Además, los errores de división por cero son reducidos en gran medida (Sarria, 2003). Más aún, la escala de medida posee la apreciada propiedad de oscilar de -1 a 1 con el 0 representando el valor aproximado de la falta de vegetación. Entonces, los valores negativos representan las superficies sin vegetación.

El NDVI permite observar el nivel de crecimiento de la vegetación en las diferentes regiones y sintetiza el resultado de la dinámica del funcionamiento y los patrones debidos a factores físicos, bióticos y disturbios (Paruelo & Lauenroth., 1998; Gurgel et. al., 2003). Este índice relaciona la fracción de radiación fotosintéticamente activa (fPAR) y la productividad primaria neta aérea (PPNA) (Jobbágy et. al., 2002). La principal ventaja del NDVI es su fácil interpretación, permitiendo conocer el estado de vigor vegetal de grandes superficies, detectando fenómenos de amplio rango de variación (Chuvieco et. al., 2002; Alcaráz Segura, 2006; Quevedo et. al., 2007).

2.2.3. Series temporales

Una serie temporal es una colección de observaciones de una variable realizadas de forma secuencial en el tiempo, en las que el orden de observación es importante. Los valores de una serie temporal van ligados a instantes de tiempo, de manera que el análisis de una serie implica el manejo conjunto de dos variables; la variable en estudio propiamente dicha y la variable tiempo (Esparza, 2012).

Las series pueden tener una periodicidad anual, semestral, trimestral, mensual, etc., según los periodos de tiempo en los que están recogidos los datos que la componen. Las ventas trimestrales de una empresa, el número de casos mensuales de personas afectadas por el SIDA, la cantidad de accidentes semanales de tráfico o el número de exportaciones efectuadas cada año por un determinado país, son ejemplos de series temporales con diferentes periodicidades (Esparza, Op. Cit.).

2.2.4. Análisis de series temporales

El análisis de series temporales presenta un conjunto de técnicas estadísticas que permiten, además de estudiar y modelizar el comportamiento de un fenómeno que evoluciona a lo largo del tiempo, realizar previsiones de los valores que se alcanzarán en el futuro (González, 2012).

Con el análisis de series temporales se pretende extraer las regularidades que se observan en el comportamiento pasado de la variable, es decir, obtener el mecanismo que la genera, para tener un mejor conocimiento de la misma en el tiempo. Además, bajo el supuesto de que las condiciones estructurales que conforman la serie objeto de estudio permanecen constantes, también se trata de predecir el comportamiento futuro (González, Op. Cit.).

El estudio de una serie temporal puede tener distintas motivaciones. El tipo de análisis, así como los modelos en los que basemos el estudio, dependerán en gran medida del tipo de preguntas que queramos responder. Cuando las observaciones corresponden a una única variable, el análisis de series temporales suele tener como objetivo construir un modelo para explicar la estructura (descripción) y prever la evolución (predicción) de la variable de interés. Cuando se observa simultáneamente un grupo de variables, el objetivo que se persigue consiste generalmente en analizar las posibles relaciones entre las variables observadas y su evolución conjunta (Esparza, 2012).

2.2.5. Tendencia y nivel de la serie

El nivel de una serie es una medida local de tendencia central, como por ejemplo la media, de cada periodo de tiempo que consideremos. Cuando trabajamos con un calendario (tiempo representado en días, meses o años), no es recomendable establecer periodos de tiempo antinaturales para estudiar esta característica. Una vez calculado el nivel de la serie debemos observar su estabilidad, debemos ver si la medida de tendencia central elegida tiene valores similares en los periodos de tiempo en los que dividimos el calendario. También tendremos que observar su tendencia, es decir, si presenta una dirección constante de cambio de nivel (González, 2012).

2.2.6. Agenda 2030

La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, aprobada en septiembre de 2015 por la Asamblea General de las Naciones Unidas, establece una visión transformadora hacia la sostenibilidad económica, social y ambiental de los 193 Estados miembros de las Naciones Unidas que la suscribieron y es la guía de referencia para el trabajo de la comunidad internacional hasta el año 2030. La Agenda 2030 presenta una oportunidad histórica para América Latina y el Caribe, ya que incluye temas altamente prioritarios para la región, como la erradicación de la pobreza extrema, la reducción de la desigualdad en todas sus dimensiones, un crecimiento económico inclusivo con trabajo decente para todos, ciudades sostenibles y cambio climático, entre otros (CEPAL, 2018).

2.2.7. Objetivos de Desarrollo Sostenible

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), también conocidos como Objetivos Globales, fueron adoptados por las Naciones Unidas en 2015 como un llamado universal a la acción para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y garantizar que para el 2030 todas las personas disfruten de paz y prosperidad. Los 17 ODS están integrados: reconocen que la acción en un área afectará los resultados en otras y que el desarrollo debe equilibrar la sostenibilidad social, económica y ambiental. Los países se han comprometido a priorizar el progreso de los más rezagados. Los ODS están diseñados para acabar con la pobreza, el hambre, el sida y la discriminación contra mujeres y niñas (CEPAL, op cit.).

2.2.8. ODS 15, Vida de ecosistemas terrestres

El ODS 15, consiste en Proteger, restablecer y promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres, gestionar sosteniblemente los bosques, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras y detener la pérdida de biodiversidad. Cuenta con una serie de metas, entre las cuales se tiene la meta 15.3 se centra en “luchar contra la desertificación, rehabilitar las tierras y los suelos degradados, incluidas las tierras afectadas por la desertificación, la sequía y las

inundaciones, y procurar lograr un mundo con una degradación neutra del suelo” para 2030. El indicador adoptado para medir los resultados obtenidos en la meta 15.3 del ODS consiste en la “Proporción de tierra degradada en relación a la superficie total de tierra”, (CEPAL, op cit.).

El seguimiento de este indicador se basa en el uso combinado de tres sub-indicadores, los cuales son: cobertura vegetal, productividad de la tierra y reservas de carbono en superficie y suelo, mejorados y complementados por indicadores relevantes a nivel nacional, y contextualizados con información a nivel nacional y sub-nacional.

2.2.9. Sub-indicador productividad de la vegetación

Según la Comisión de Estadística de las Naciones Unidas (2016) la productividad de la tierra, es la capacidad productiva biológica de la tierra, la fuente de todos los alimentos, fibras y combustibles que sustentan a los humano. La productividad primaria neta (PPN) es la cantidad neta de carbono asimilado después de la fotosíntesis y la respiración autótrofa durante un período determinado (Clark et al. 2001) y normalmente se representa en unidades como kg/ha/año. La PPN es una variable que requiere mucho tiempo y es costosa de estimar, por esa razón, confiamos en la información de sensores remotos para obtener indicadores de la PPN. La productividad de la tierra se evalúa utilizando tres medidas de cambio derivadas de datos de series temporales de NDVI: trayectoria, rendimiento y estado.

2.2.10. Sub-indicador cobertura terrestre

Para evaluar los cambios en la cobertura del suelo, se necesitan mapas de cobertura del suelo que cubran el área de estudio para los años de referencia y objetivo. Estos mapas deben tener una precisión aceptable y deben crearse de tal manera que permitan comparaciones válidas. En el análisis se usan mapas de cobertura terrestre de la ESA CCI como el conjunto de datos predeterminado, pero también se pueden usar mapas locales.

2.2.11. Sub-indicador carbono orgánico del suelo

El tercer sub-indicador para monitorear la degradación de la tierra como parte del proceso de los ODS cuantifica los cambios en el carbono orgánico del suelo (COS) durante el período del informe. Los cambios en el COS son particularmente difíciles de evaluar por varias razones, algunas de las cuales son la alta variabilidad espacial de las propiedades del suelo, el tiempo y el costo intensivo de realizar estudios de suelos representativos y la falta de datos de series temporales sobre el COS para la mayoría de las regiones del mundo. Para abordar algunas de las limitaciones, se utiliza un método combinado de cobertura terrestre/COS, para estimar los cambios en el COS e identificar áreas potencialmente degradadas.

2.2.12. Trends Earth

Anteriormente llamado Land Degradation Monitoring Toolbox, es una plataforma de Conservación Internacional para monitorear el cambio de tierra usando observaciones de la tierra en un escritorio innovador y un sistema basado en la nube, en ella se evalúan productividad de la tierra, cobertura de la tierra y carbono orgánico del suelo (TRENDS EARTH, 2018).

2.3. BASES LEGALES

Es oportuno señalar que el ámbito de la investigación está en línea con múltiples aspectos contenidos en ciertos documentos de carácter legal en Venezuela, los cuales justifican su desarrollo, en primer lugar se tiene el artículo 127 de la Constitución de la República Bolivariana de Venezuela, que indica “es un deber y un derecho de cada generación proteger y mantener el ambiente, para beneficio de ella misma y de las futuras generaciones”, además, “es deber del Estado proteger los procesos ecológicos”, y “manejar eficientemente los recursos agua y suelo”.

En segundo lugar, está el gran objetivo histórico N° 5: Contribuir con la preservación de la vida en el planeta y la salvación de la especie humana, contemplado en el Plan de la Patria 2019-2025; donde puede destacarse el primer objetivo nacional “construir

e impulsar el modelo histórico social ecosocialista, fundamentado en el respeto a los derechos de la Madre Tierra”.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo de investigación

El estudio fue de tipo descriptivo. Según Hernández, Fernández y Baptista (20xxx), los estudios descriptivos buscan especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis (p.92). Comentan Palella y Martins (2012) que los estudios descriptivos tienen el propósito de interpretar realidades de hecho. Incluye descripción, registro, análisis e interpretación de la naturaleza actual, composición o procesos de los fenómenos (p.92). Adicionalmente se tiene la definición de Arias (2012), la investigación descriptiva mide de forma independiente las variables, y aun cuando no se formulen hipótesis, las primeras aparecerán enunciadas en los objetivos de investigación (p.25).

3.2. Diseño de la investigación

La investigación es no experimental con un diseño longitudinal de tendencia. Este se realiza sin manipular en forma deliberada ninguna variable. El investigador no sustituye intencionalmente las variables independientes. Se observan los hechos tal y como se presentan en su contexto real y en un tiempo determinado o no, para luego analizarlos (Hernández, Fernández y Baptista, 2014). De acuerdo con los autores citados, un diseño longitudinal, son estudios que recaban datos en diferentes puntos del tiempo; para realizar inferencias sobre la evolución del problema de investigación o fenómeno, sus causas y sus efectos.

3.3. Unidad de estudio

La investigación se realizó en la cuenca del río Macapo, la cual hasta su desembocadura al río Tinaco, drena una superficie de 102,84 km², de los cuales 100% forman parte del municipio homónimo (Figura 2). Su cauce principal tiene unos 20 km. Su pendiente media es igual a 2,39%; la cota más alta se ubica a 729 msnm, mientras que la más baja en 239 msnm a pocos metros de tributar al río

Tinaco. El caudal medio es de $0,82 \text{ m}^3/\text{s}$. Sus principales cauces tributarios son las quebradas Grande, Agua Fría, El Peñón, Honda, Seca, El Chupón, El Chigüire y Chupulún. La elevación media del terreno es de 445,87 msnm, variando desde 235 msnm hasta 958 msnm, con una pendiente media de 13,35%. La figura 2 muestra la cuenca del río Macapo.

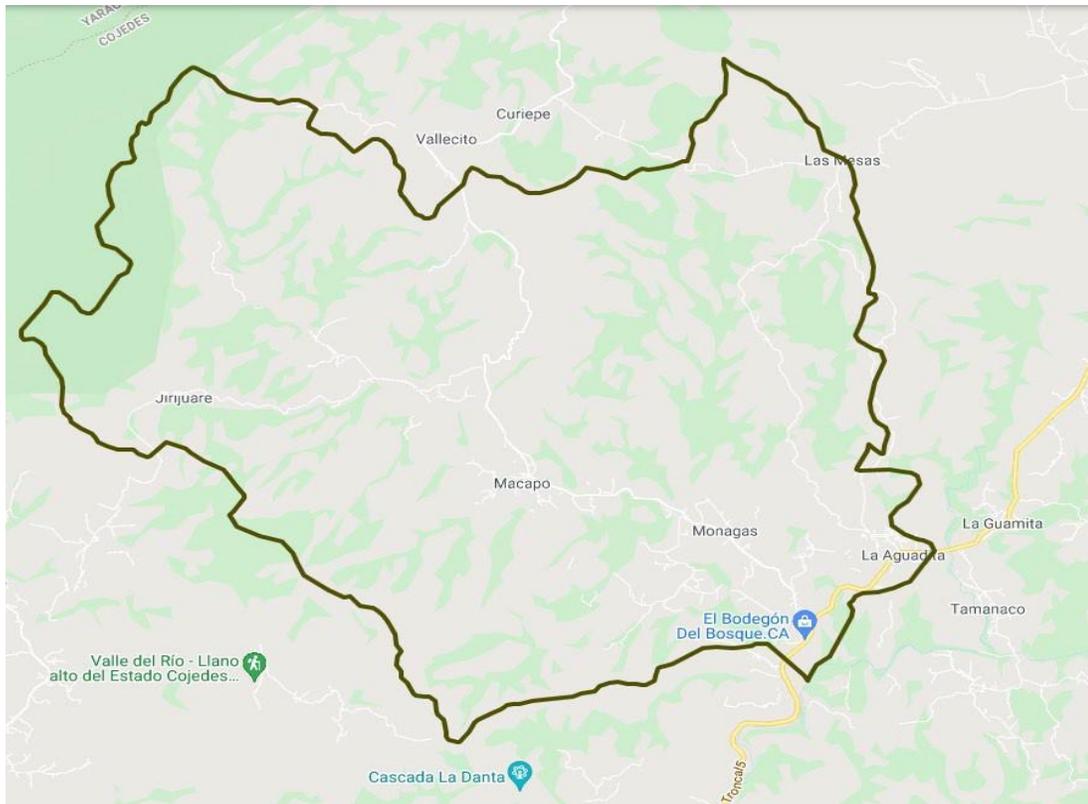


Figura 2. Cuenca del río Macapo

3.4. Datos

Se emplearon datos de la plataforma de Conservación Internacional (Trends Earth), la cual se basa en una serie de fuentes de datos los cuales se mencionan a continuación.

Tabla 1*Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)*

Sensor / Dataset	Ventana Temporal	Resolución Espacial	Grado	Licencia
AVHRR/ GIMMS	1982-2015	8 km	Global	Public Domain
MOD13Q1-coll6	2001-2016	250 m	Global	Public Domain

Fuente: Trends Earth (2018)

Tabla 2*Humedad del suelo*

Sensor / Dataset	Ventana Temporal	Resolución Espacial	Grado	Licencia
GPCP v2.3 1 month	1979-2019	2.5° x 2.5°	Global	Public Domain
GPCC V6	1891-2019	1° x 1°	Global	Public Domain
CHIRPS	1981-2016	5 km	50N-50S	Public Domain
PERSIANN-CDR	1983-2015	25 km	60N-60S	Public Domain

Fuente: Trends Earth (2018)

Tabla 3*Evapotranspiración*

Sensor / Dataset	Temporal	Espacial	Grado	Licencia
MOD16A2	2000-2014	1 km	Global	Public Domain

Fuente: Trends Earth (2018)

Tabla 4*Mapa de Cobertura*

Sensor / Dataset	Temporal	Espacial	Grado	Licencia
ESA CCI Land Cover	1992-2018	300 m	Global	CC by-SA 3.0

Fuente: Trends Earth (2018)

Tabla 5

Carbono del suelo

Sensor / Dataset	Temporal	Espacial	Grado	Licencia
Soil Grids (ISRIC)	Presente	250 m	Global	CC by-SA 4.0

Fuente: Trends Earth (2018)

Tabla 6

Zonas Agroecológicas

Sensor / Dataset	Temporal	Espacial	Grado	Licencia
FAO - IIASA Global Agroecological Zones (GAEZ)	2000	8 km	Global	Public Domain

Fuente: Trends Earth (2018)

3.5. Fases de la investigación

Fase I. Estudio de la degradación de la tierra con base en los cambios de la cobertura de la tierra en la cuenca del río Macapo, estado Cojedes.

Para evaluar los cambios en la cobertura de la tierra, los usuarios necesitan mapas de cobertura del terreno que cubran el área de estudio para la línea de base y los años objetivo. Estos mapas deben ser de precisión aceptable y deben ser creados de tal forma que permitan comparaciones válidas. Trends Earth utiliza los mapas de cobertura terrestre CCI de ESA como el conjunto de datos predeterminado, pero también se pueden usar mapas locales. El indicador se calcula de la siguiente manera:

- a) La plataforma reclasifica ambos mapas de cobertura terrestre a las 7 clases de cobertura terrestre necesarias para informar a la CNUCLD (bosques, pastizales, tierras de cultivo, humedales, áreas artificiales, tierras desnudas y agua); b) Luego realiza un análisis de transición de cobertura terrestre para identificar qué píxeles permanecieron en la misma clase de cobertura terrestre y cuáles cambiaron; c) Según el conocimiento local (del usuario) de las condiciones en el área de estudio y la degradación de la tierra procesada allí, se utiliza la tabla

7 siguiente para identificar qué transiciones corresponden a la degradación (signo -), mejora (signo +) o ningún cambio en términos de condición de la tierra (cero).

Tabla 7
Dinámica de transición de coberturas

		Land cover in target year						
		Forest	Grassland*	Cropland	Wetland	Artificial area	Bare land	Water body
Land cover in baseline year	Forest	0	-	-	-	-	-	0
	Grassland*	+	0	+	-	-	-	0
	Cropland	+	-	0	-	-	-	0
	Wetland	-	-	-	0	-	-	0
	Artificial area	+	+	+	+	0	+	0
	Bare land	+	+	+	+	-	0	0
	Water body	0	0	0	0	0	0	0

Legend

Degradation: - (Red)

Stable: 0 (Yellow)

Improvement: + (Green)

*The "Grassland" class consists of grassland, shrub, and sparsely vegetated areas (if the default aggregation is used).

Fuente: Trends Earth (2018)

d) Trends Earth, combina la información de los mapas de cobertura terrestre y la tabla de tipologías de degradación por transición de cobertura terrestre para calcular el subindicador de cobertura de la tierra (ver figura 6).

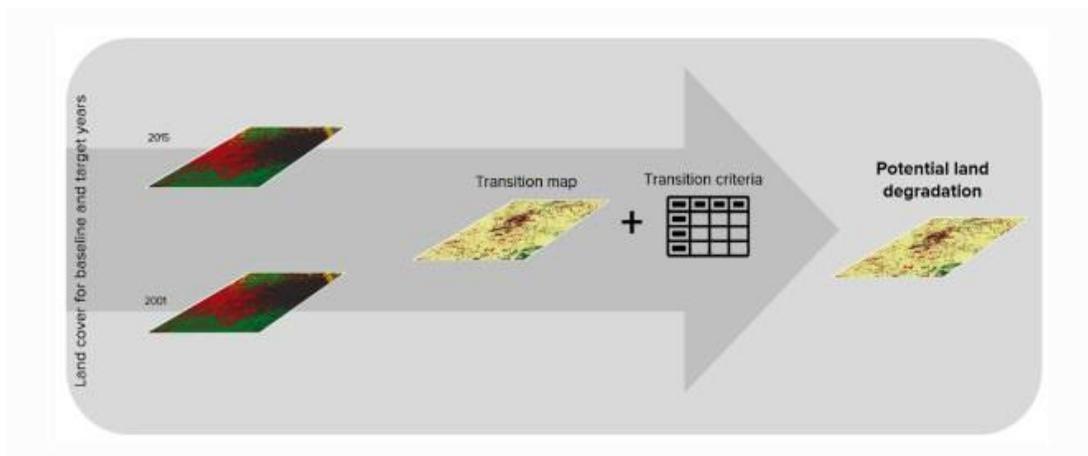


Figura 3. Análisis de la cobertura del terreno

Fase II. Análisis de la degradación de la tierra a nivel de la productividad biológica en la cuenca del río Macapo, estado Cojedes:

Para este análisis, la plataforma Trends Earth, realiza el cálculo de cada uno de los sub-indicadores como sigue:

Sub-indicador – Productividad

Calcular la PPN consume mucho tiempo y es costoso de estimar, por esa razón, se usa la información detectada remotamente para derivar indicadores de PPN. Uno de los sustitutos más comúnmente usados de la PPN es el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), que se calcula utilizando la información de las porciones roja e infrarroja cercano del espectro electromagnético. En Trends.Earth se hace uso de productos cada dos semanas de MODIS y AVHRR para calcular las integrales anuales de NDVI (calculado como el NDVI anual promedio para simplificar la interpretación de los resultados). Estas integrales anuales de NDVI se utilizan para calcular cada uno de los indicadores de productividad que se explican a continuación. La productividad de la tierra se evalúa en Trends Earth utilizando tres medidas de cambio derivadas de datos de series de tiempo de NDVI: trayectoria, rendimiento y estado.

Productividad – Trayectoria

La trayectoria mide la tasa de cambio en la productividad primaria a lo largo del tiempo. Como se indica en la figura a continuación (figura 4), Trends Earth calcula una regresión lineal a nivel de píxel para identificar las áreas que experimentan cambios en la productividad primaria durante el período bajo análisis. A continuación, se aplica una prueba de significación no paramétrica de Mann-Kendall, considerando solo cambios significativos aquellos que muestran un valor de $p \leq 0.05$. Las tendencias positivas significativas en NDVI indicarían la mejora potencial en la condición de la tierra, y la potencial degradación de las tendencias significativas negativas.

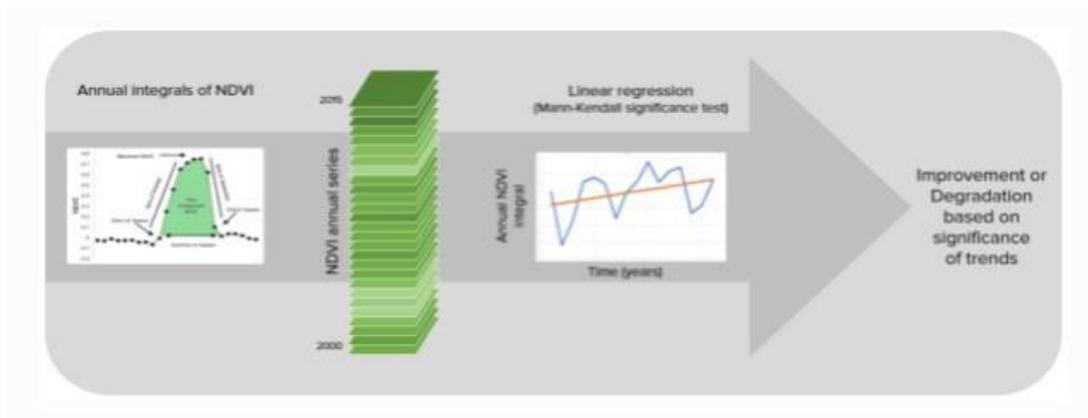


Figura 4. Análisis de la Productividad - Trayectoria

Productividad - Estado

El indicador de Productividad - Estado permite la detección de cambios recientes en la productividad primaria en comparación con un período de referencia. El indicador se calcula de la siguiente manera:

Se define el período de línea de base (período histórico para comparar la productividad primaria reciente); b) se define el período de comparación (los años recientes se utilizan para realizar la comparación). Se recomienda utilizar un período de 3 años para evitar las fluctuaciones anuales relacionadas con el clima; c) Para cada píxel, se utilizan las integrales anuales de NDVI para el período de referencia para calcular una distribución de frecuencias. En caso de que el período de referencia no contuviera valores extremos en NDVI, se le agrega un 5% del rango en ambos extremos de la distribución. Esa curva de distribución de frecuencia expandida se usa para definir los valores de corte de las clases de percentiles 10; d) Se calcula el NDVI promedio para el período de referencia y se determina la clase percentil a la que pertenece.

Seguidamente, se le asigna al NDVI promedio para el período de referencia el número correspondiente a esa clase percentil. Los valores posibles van de 1 (clase más baja) a 10 (clase más alta); e) Se calcula el NDVI promedio para el período de comparación y se determina la clase percentil a la que pertenece. Se le asigna al NDVI promedio para el período de comparación el número correspondiente a esa

clase percentil. Los valores posibles van de 1 (clase más baja) a 10 (clase más alta); f) se determina la diferencia en el número de clase entre la comparación y el período de referencia (comparación menos referencia); g) Si la diferencia en la clase entre la línea de base y el período de comparación es ≤ 2 , entonces ese píxel se considerará potencialmente degradado. Si la diferencia es ≥ 2 , ese píxel indicaría una mejora reciente en términos de productividad primaria. Los píxeles con pequeños cambios se consideran estables. La figura 5 muestra el análisis.

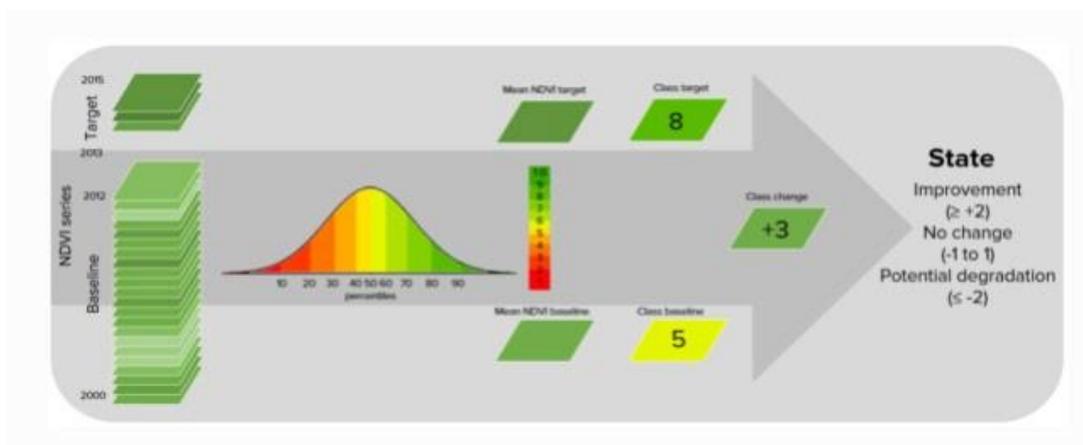


Figura 5. Análisis de la Productividad – Estado

Productividad - Rendimiento

El indicador de Productividad - Rendimiento mide la productividad local en relación con otros tipos de vegetación similares en tipos de cobertura terrestre o regiones bioclimáticas similares en toda el área de estudio. Trends Earth utiliza la combinación única de unidades de suelo (unidades de taxonomía de suelos usando el sistema USDA provisto por SoilGrids a una resolución de 250m) y cobertura del terreno (37 clases de cobertura terrestre proporcionadas por ESA CCI a una resolución de 300m) para definir estas áreas de análisis. El indicador se calcula de la siguiente manera:

- Se define el período de análisis y se usa la serie temporal de NDVI para calcular la media del NDVI para cada píxel;
- Se definen unidades ecológicamente similares a la intersección única de la cobertura del terreno y el tipo de suelo;
- Para cada

unidad, se extraen todos los valores medios de NDVI calculados en el paso 1 y cree una distribución de frecuencia. De esta distribución, se determina el valor que representa el percentil 90 (no se recomienda utilizar el valor NDVI máximo absoluto para evitar posibles errores debido a la presencia de valores atípicos). El valor que representa el percentil 90 se considerará la productividad máxima para esa unidad; d) Se calcula la relación entre el NDVI medio a nivel de píxel y la productividad máxima para esa unidad (en cada caso compare el valor medio observado con el máximo para su unidad correspondiente); e) Si el NDVI promedio observado es inferior al 50% de la productividad máxima, ese píxel se considera potencialmente degradado para este indicador. Ver figura 6.

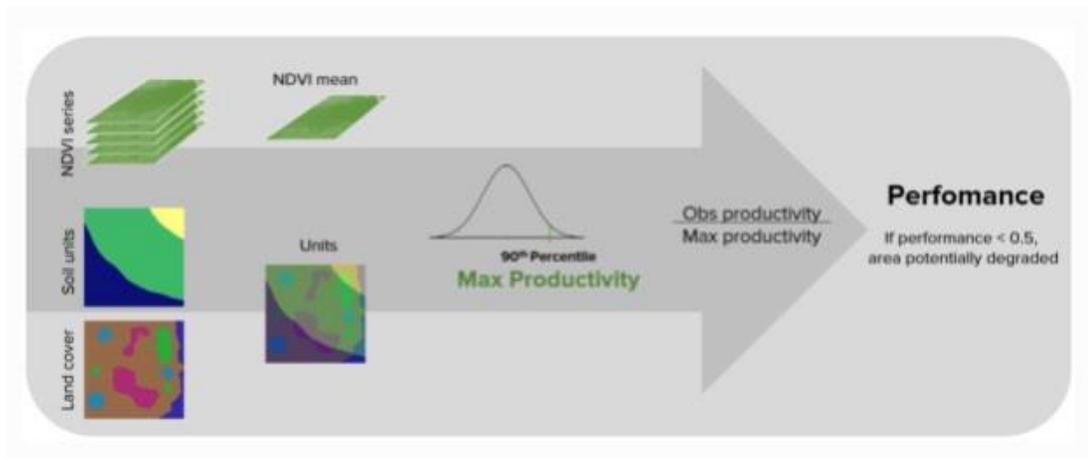


Figura 6. Análisis de la Productividad Rendimiento

Combinación de indicadores de productividad

Los tres sub-indicadores de productividad se combinan luego como se indica en la tabla 8. Para los informes del ODS 15.3.1, se requiere el indicador de 3 clases, pero Trends Earth también produce una clase 5 que aprovecha la información proporcionada por el estado para informar el tipo de degradación que ocurre en el área.

Tabla 8
Agregación de Sub-indicadores de Productividad

Aggregating the productivity sub-indicators

Trajectory	State	Performance	3 Classes	5 Classes
Improvement	Improvement	Stable	Improvement	Improving
Improvement	Improvement	Degradation	Improvement	Improving
Improvement	Stable	Stable	Improvement	Improving
Improvement	Stable	Degradation	Improvement	Improving
Improvement	Degradation	Stable	Improvement	Improving
Improvement	Degradation	Degradation	Degradation	Stable
Stable	Improvement	Stable	Stable	Stable
Stable	Improvement	Degradation	Stable	Stable
Stable	Stable	Stable	Stable	Stable
Stable	Stable	Degradation	Stable	Stable
Stable	Degradation	Stable	Degradation	Stable but stressed
Stable	Degradation	Degradation	Degradation	Early signs of decline
Stable	Degradation	Degradation	Degradation	Declining
Degradation	Improvement	Stable	Degradation	Declining
Degradation	Improvement	Degradation	Degradation	Declining
Degradation	Stable	Stable	Degradation	Declining
Degradation	Stable	Degradation	Degradation	Declining
Degradation	Degradation	Stable	Degradation	Declining
Degradation	Degradation	Degradation	Degradation	Declining

Fuente: Trends Earth (2018)

Fase III. Interpretación de la degradación de la tierra en la cuenca del río Macapo, estado Cojedes:

A los fines de obtener todos los sub-indicadores que permiten realizar una adecuada interpretación de la degradación de la tierra (ODS 15.3.1), es necesario calcular el sub-indicador carbono orgánico del suelo. A continuación se muestra el procedimiento llevado a cabo en la plataforma de Trends Earth.

Sub-indicador - Carbono orgánico del suelo

El tercer sub-indicador para monitorear la degradación de la tierra como parte del proceso de ODS cuantifica los cambios en el carbono orgánico del suelo (SOC) durante el período del informe. Los cambios en SOC son particularmente difíciles de evaluar por varias razones, algunas de ellas son la alta variabilidad espacial de las propiedades del suelo, el tiempo y costo de la realización de muestreos representativos del suelo y la falta de datos de series temporales sobre SOC para la mayoría de las regiones del mundo. Para abordar algunas de las limitaciones, se utiliza un método combinado de cobertura del terreno/SOC en Trends Earth para estimar los cambios en SOC e identificar áreas potencialmente degradadas. El indicador se calcula de la siguiente manera: a) se determinan los valores de referencia de SOC.

Trends Earth utiliza los stocks de carbono de SoilGrids 250m para los primeros 30 cm del perfil del suelo como los valores de referencia para el cálculo (NOTA: SoilGrids utiliza información de una variedad de fuentes de datos y de varios muchos años para producir este producto, por lo tanto, asignar una fecha para cálculos podría causar inexactitudes en los cálculos de cambio de stock); b) se reclasifican los mapas de la cobertura del terreno a las 7 clases de cobertura terrestre necesarias para informar a la CNULD (bosque, pastizales, tierras de cultivo, humedales, áreas artificiales, tierras desnudas y agua). Idealmente, se prefieren los mapas anuales de cobertura terrestre, pero al menos se necesitan mapas de cobertura terrestre para los años inicial y final; c) Para estimar los cambios en las existencias de C para el período de referencia, el IPCC y la CNULD recomiendan coeficientes de conversión C para los cambios en el uso, la gestión y los insumos de la tierra.

Sin embargo, la información espacialmente explícita sobre la administración y las entradas C no está disponible para la mayoría de las regiones. Como tal, solo se puede aplicar el coeficiente de conversión del uso de la tierra para estimar los cambios en las existencias de C (utilizando la cobertura de la tierra como un proxy para el uso de la tierra). Los coeficientes utilizados fueron el resultado de una revisión bibliográfica realizada por la CNULD y se presentan en la tabla a continuación. Esos coeficientes representan los valores proporcionales en C después de 20 años de cambio en la cobertura del terreno; d) Para identificar degradación, se calculan las diferencias relativas en SOC entre la línea de base y el período objetivo.

Las zonas que experimentaron una pérdida en SOC del 10% o más durante el período del informe se considerarán potencialmente degradadas y las áreas que experimenten una ganancia del 10% o más, como potencialmente mejoradas. Los cambios en SOC se han estudiado en mayor detalle para las transiciones de cobertura terrestre que involucran agricultura, y por esa razón hay un conjunto diferente de coeficientes para cada una de las principales regiones climáticas globales: Templado seco ($f = 0,80$), templado húmedo ($f = 0,69$), tropical Seco ($f = 0.58$), Tropical húmedo ($f = 0.48$) y Montano tropical ($f = 0.64$). La figura 7 muestra de forma esquematizada como se

realiza el análisis de degradación en base a los cambios en el stock de carbono orgánico del suelo.

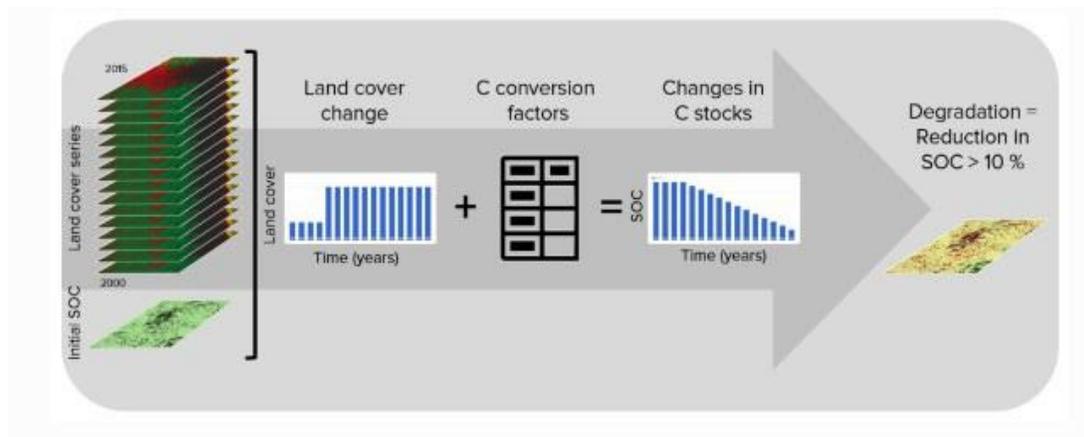


Figura 7. Análisis de la degradación sobre la base del cambio en el stock de carbono orgánico

El indicador 15.3.1

El indicador 15.3.1 de los ODS, se define como el resultado de la proporción total de tierra degradada respecto con la superficie total del suelo. En este sentido, es el obtenido de integrar los tres (3) sub-indicadores estudiados para estimar la degradación de la tierra en la CRM a saber: cobertura de la tierra, productividad biológica de la tierra y la razón de cambio en las reservas de carbono orgánico del suelo. Este indicador se informa como una cuantificación binaria, es decir; degradado o no degradado, respecto con la extensión total de la tierra degradada, medida en hectáreas (ha), y referido como la proporción (%) del suelo que ha disminuido la cobertura de la tierra, la productividad biológica de la tierra y la razón de cambio en las reservas de carbono orgánico del suelo sobre la superficie total del terreno de la CRM.

La proporción total de tierra se determinó sumando las áreas totales de las clases de cobertura de la tierra, pero descartando aquellas áreas cubiertas por los cuerpos de aguas, tales como ríos, lagos y humedales (Sims et al., 2021; UNCCD, 2018). La integración de los tres sub-indicadores del ODS 15.3.1 se realiza siguiendo la regla de

uno afuera-todos afuera, esto significa que si un área fue identificada como potencialmente degradada por cualquiera de los sub-indicadores, entonces esa área se considerará potencialmente degradado para fines informativos.

CAPÍTULO IV

DESCRIPCIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. DINÁMICA DE LA TRANSICIÓN COBERTURA/USO DE LA TIERRA EN LA CUENCA DEL RÍO MACAPO

Para este análisis, se han aprovechado las bondades del mapa de cobertura y usos del suelo generado por la Agencia Espacial Europea (ESA, por sus siglas en inglés) a partir de imágenes captadas por la plataforma satelital Sentinel 2 a lo largo del año 2020. Este mapa cuenta con una resolución espacial de 10 m (Figura 8). Un examen visual de la Figura 8, permite inferir el tipo de transición de cobertura/uso que llevó a la degradación del suelo en las locaciones antes mencionadas. Por ejemplo, en la periferia de El Jabillo se evidencia una importante fragmentación del paisaje con la prevalencia de pastizales (en color amarillo). Es decir, el principal impulsor de degradación ha sido el aclaramiento de los bosques para dar pasos a tierras de pastoreo. Una situación similar se observa en Agua de Polo.

Por el contrario, al norte de Macapo, la degradación se asocia con la ampliación del borde urbano (en color rojo). En general, hay una clara presencia de amplias zonas donde co-existen pequeños lotes boscosos con claros donde predominan pastizales; algunos de los cuales, pueden ser naturales.

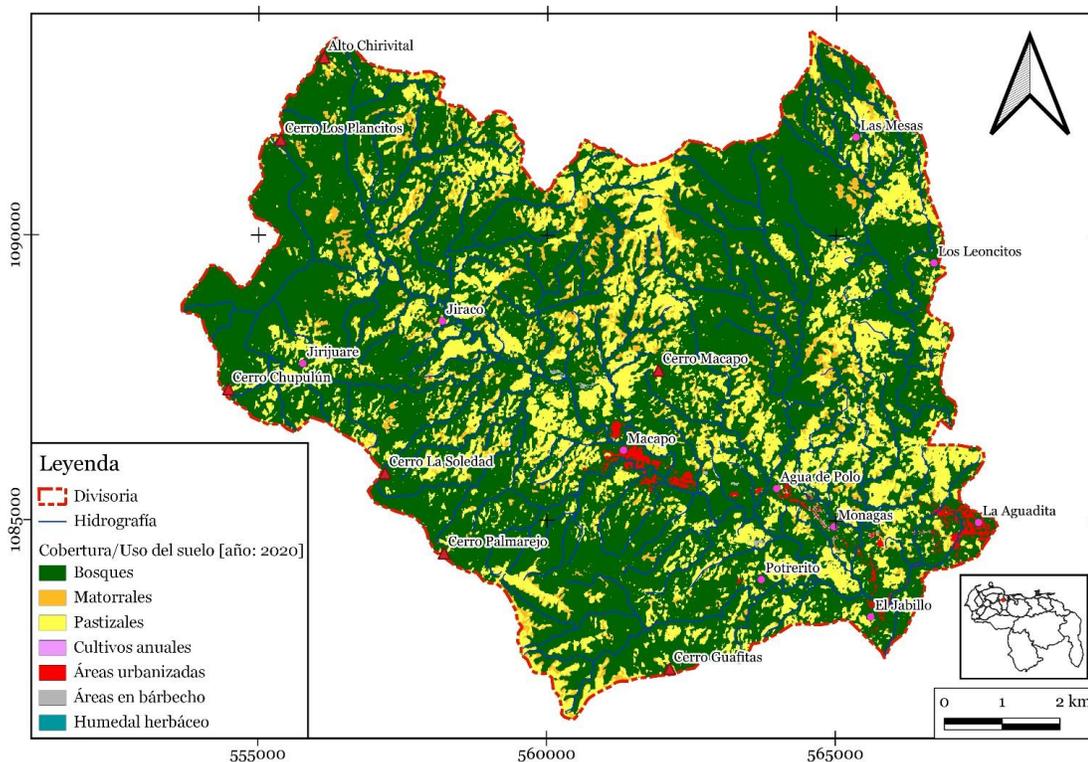


Figura 8. Coberturas y usos del suelo en la cuenca del río Macapo para el año 2020 según el producto global WorldCover 10m desarrollado por la ESA

La fragmentación del paisaje en la cuenca del río Macapo es un proceso esperable dado la larga tradición agrícola de sus pobladores. Sin embargo, su prevalencia en las zonas altas de la cuenca es preocupante en términos ambientales (ver Figura 9). En efecto, esta situación puede conducir a una serie de impactos de muy lento desarrollo como son la pérdida de biodiversidad, un decrecimiento en la fertilidad del suelo por acción de la erosión hídrica, y no menos importante, una merma en la resiliencia de la cuenca ante eventos de precipitación fuertes (reflejados por crecientes torrenciales) o persistentes sequías (merma del caudal del río Macapo).

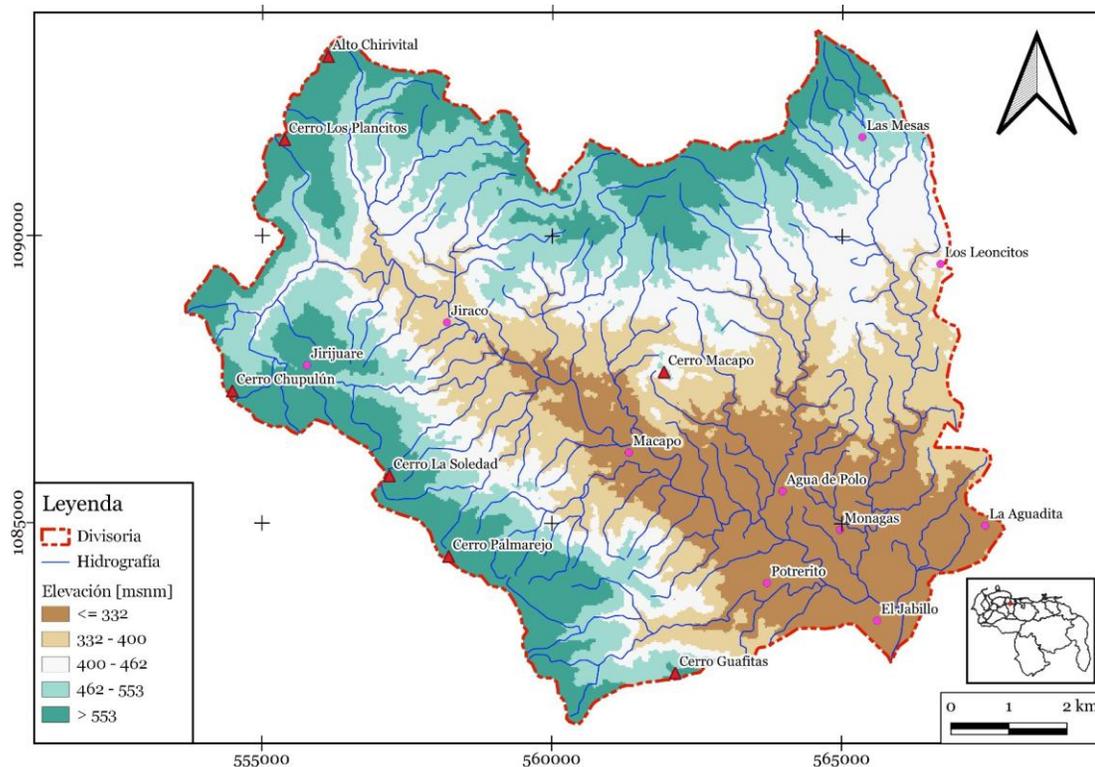


Figura 9: Distribución de la elevación del terreno en la cuenca del río Macapo según el producto Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM).

Nota: Disponible en <https://srtm.csi.cgiar.org/>

Un factor a tomar en cuenta en la degradación de los suelos, son las altas pendientes en las vertientes de montaña de la cuenca (ver Figura 10). Es decir, cualquier estrategia dirigida a minimizar o a revertir el proceso de degradación en la cuenca, debe hacer frente a las altas pendientes, y, por ende, las medidas requieren ser coherente con esta realidad. De nuevo, debe enfatizarse que el aclaramiento de los bosques para dar paso a actividades económicas basadas en el aprovechamiento, no necesariamente sustentable del paisaje, es una realidad cultural con la cual se debe armonizar cualquier abordaje en el marco del presente proyecto.

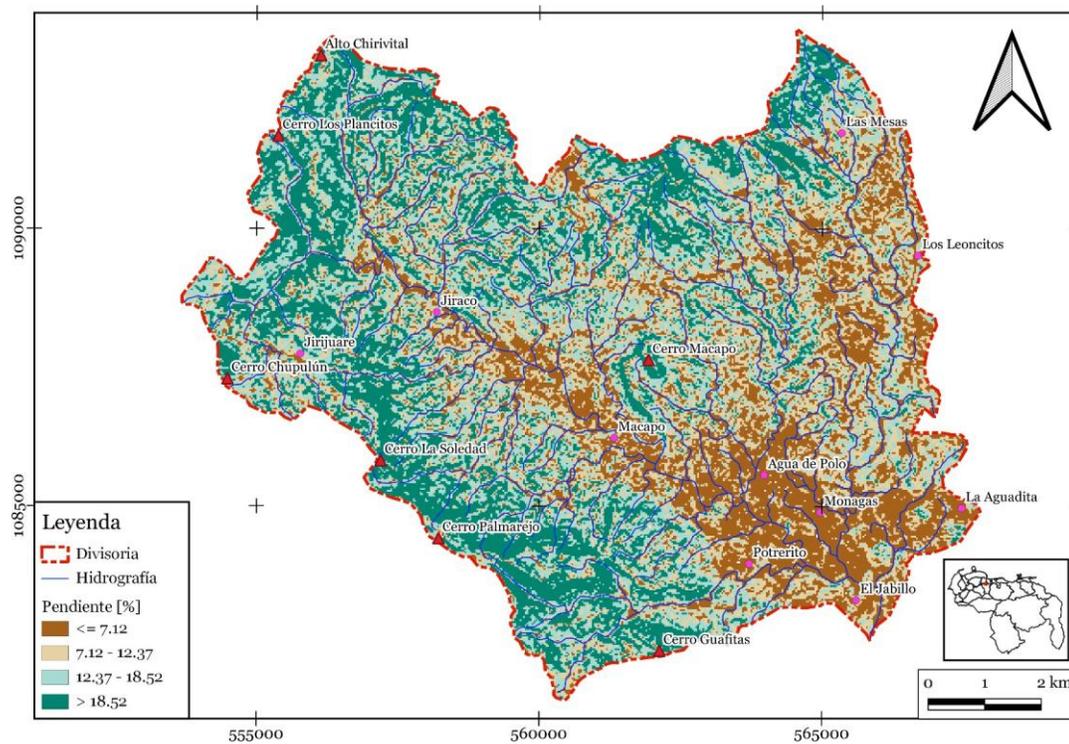


Figura 10: Distribución de la pendiente del terreno en la cuenca del río Macapo según el producto SRTM.

La tabla 9 muestra los cambios de cobertura de la tierra para el período 2001-2020 por tipo de cobertura, año, área y cambios durante el periodo analizado.

Tabla 9

Cambios de cobertura de la tierra para el período 2001-2020 por tipo de cobertura, año, área y cambios durante el periodo analizado

Categoría	2000	2020	Cambio 2001-2020	
	Área (km ²)	Área (km ²)	(km ²)	(%)
Bosques	10,04	10,28	0,24	2,44
Pastizales	83,41	83,41	0,00	0,00
Cultivos	9,42	9,18	-0,24	-2,60
Humedales	0,00	0,00	0,00	0,00
Áreas urbanas	0,12	0,12	0,00	0,00
Otras tierras	0,00	0,00	0,00	0,00
Cuerpos de agua	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	102,99	102,99		

Fuente: Cedeño (2022)

En el período analizado (2001-2020), puede apreciarse que la categoría Bosques presenta un cambio positivo de $0,24 \text{ Km}^2$ (2,44%), la categoría pastizales se mantiene estable sin cambios, la categoría cultivos presenta una merma de $-0,24 \text{ Km}^2$ (-2,60%); esta dinámica presumiblemente obedece a un debilitamiento y abandono de las actividades relacionadas con las diferentes manifestaciones de agricultura en la cuenca, esto hace que en esas zonas abandonadas puedan originarse diferentes formaciones vegetales que hacen notar una mejora en la categoría bosques. El resto de las categorías no presentan cambios en el período analizado.

4.2. DEGRADACIÓN DE LA TIERRA A NIVEL DE LA PRODUCTIVIDAD BIOLÓGICA

4.2.1. Productividad de la tierra

Para tener una primera aproximación de las zonas degradadas en la CRM se analizó la dinámica de la producción de la tierra para el periodo 2001-2017 usando imágenes del índice de vegetación normalizada (NDVI; por sus siglas en inglés) derivadas del sensor MODIS a bordo del satélite Terra. Este método usa un indicador que integra tres métricas en simultáneo, denominadas tendencia, estado y rendimiento. Cabe destacar que dicho método lo adopta la Convención de la Naciones Unidas para el Combate de Tierras Degradadas para la detección de suelos degradados a escala global. La metodología y su racionalidad se explica en Sims et al. (2017). El mapa resultante se muestra en la Figura 11. Las zonas con mayor extensión espacial de degradación en los suelos se ubican en la periferia de los sectores Agua de Polo, Las Mesas y El Jabillo (mostrados en color rojo).

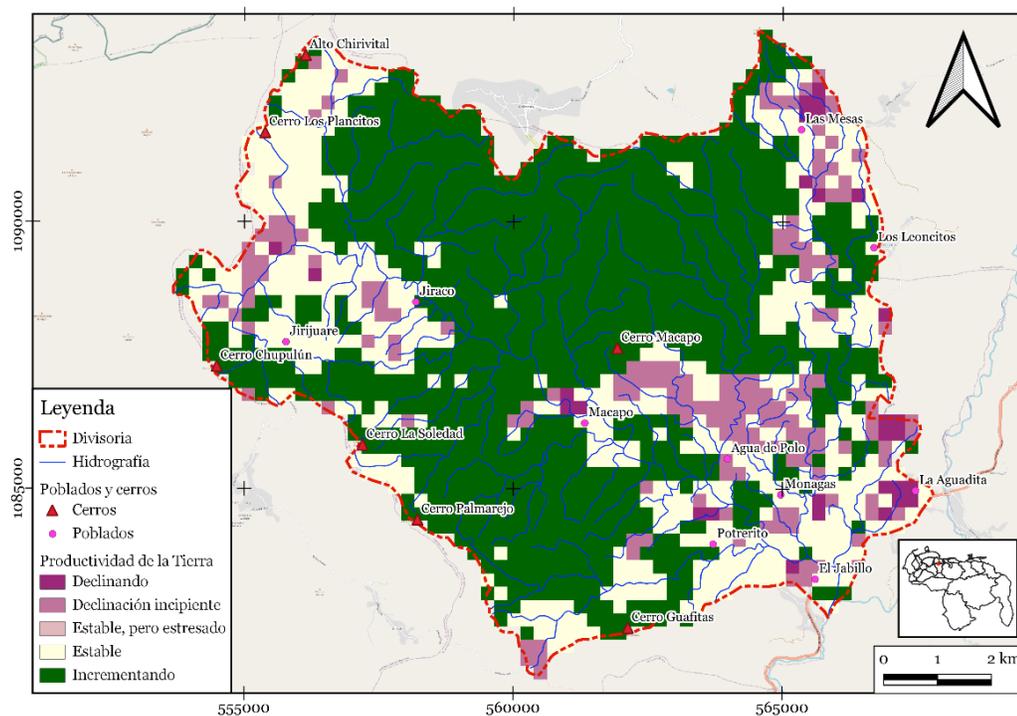


Figura 11. Dinámica de la productividad de la tierra en la cuenca del río Macapo

El análisis muestra que: el área de suelo con productividad mejorada asciende a 61,7 Km² (58,89%), el área de suelo con productividad estable es de 29,4 Km² (28,52%) y el área de suelo con productividad degradada es de 11,9 Km² (11,59%), ver figura 11 y tabla 10.

Tabla 10

Productividad de la tierra en la cuenca del río Macapo

Descripción	Área (Km ²)	Porcentaje del área total de tierra
Área total de tierras:	103,0	100,00%
Área de tierras con productividad mejorada:	61,7	59,89%
Área de tierras con productividad estable:	29,4	28,52%
Áreas de tierras con productividad degradada	11,9	11,59%
Área de tierras sin datos de productividad:	0,0	0,00%

Fuente: Trends Earth (2022)

4.3. CAMBIO DEL CARBONO ORGÁNICO EN EL SUELO EN EL PERÍODO ANALIZADO 2001-2020

La tabla 11 muestra cómo ha sido la dinámica del cambio del carbono orgánico en el suelo en el período analizado.

Tabla 11
Cambio del carbono orgánico en el suelo en el período analizado 2001-2020

	Año 2001 Carbono Orgánico en el suelo (Ton/ha)	Año 2020 Carbono Orgánico en el suelo (Ton/ha)	Año 2001 Área (Km ²)	Año 2020 Área (Km ²)
Bosques	78,03	78,03	10,04	10,28
Pastizales	72,80	72,80	83,41	83,41
Cultivos	79,06	80,08	9,42	9,18
Humedales	0,00	0,00	0,00	0,00
Áreas urbanas	56,00	56,00	0,12	0,12
Otras tierras	0,00	0,00	0,00	0,00
			Total:	102,99
				102,99

	Año 2001 Carbono Orgánico en el suelo (Ton)	Año 2020 Carbono Orgánico en el suelo (Ton)	Cambio del carbono orgánico en el suelo (Ton)	Cambio del carbono orgánico en el suelo (Porcentaje)
Bosques	78.304,80	80.214,54	1.909,73	2,44%
Pastizales	607.213,63	607.213,63	0,00	0,00%
Cultivos	74.499,85	73.500,62	-999,22	-1,34%
Humedales	0,00	0,00	0,00	0,00%
Áreas urbanas	685,38	685,38	0,00	0,00%
Otras tierras	0,00	0,00	0,00	0,00%
Total:	760.703,66	761.614,17	910,51	

Fuente: Cedeño, 2022

Es interesante comentar que la categoría cultivos presenta un cambio apreciable en el stock de carbono orgánico del suelo pasando de 79,06 Ton/ha a 80,08 Ton/ha.

Igualmente, es plausible señalar que las categorías Bosques y Cultivos muestran cambios apreciables en el stock de carbono orgánico del suelo 1.909,73 Ton (2,44%) y -999,22 Ton (-1,34%) en el período analizado 2001-2020. La tasa de cambio total es de -910,51 Ton. Los análisis relacionados con el stock de carbono orgánico en el suelo, cada vez cobran más relevancia en los ámbitos que tienen que ver con todas las iniciativas de los diferentes planes de adaptación al cambio climático. En este sentido es importante destacar el primer principio establecido por la Carta Mundial del Suelo revisada (FAO, 2015a, p.2),

“Los suelos son un recurso clave que abre posibilidades, fundamental para generar multitud de bienes y servicios esenciales para los ecosistemas y el bienestar humano. El mantenimiento o la mejora de los recursos mundiales de suelos son esenciales para satisfacer las necesidades globales de alimentos, agua y seguridad energética de la humanidad en consonancia con el derecho soberano de cada Estado sobre sus recursos naturales. En concreto, los aumentos previstos en la producción de alimentos, fibras y combustibles que se exigen para alcanzar la seguridad alimentaria y energética supondrán mayor presión sobre los suelos”.

En este contexto, los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda para el Desarrollo Sostenible de 2030, adoptados por los líderes mundiales en septiembre de 2015, identificaron la necesidad de restaurar los suelos degradados y mejorar la salud del suelo. Los resultados obtenidos se constituyen en insumos importantes para las diferentes iniciativas que se puedan tomar en aras de formular planes de conservación de cuencas y planes de adaptación al cambio climático.

Con respecto a las variaciones observadas en la clase cultivos (variación negativa), hace presumir que se puede acentuar la degradación del suelo por erosión, compactación, pérdida de nutrientes, lavado, acidificación y/o salinización, y en general, provocar una disminución en la biodiversidad del suelo (Brady y Weil, 2008: citados por Mogollón y otros, 2015).

4.4. DEGRADACIÓN DE LA TIERRA EN LA CUENCA DEL RÍO MACAPO, ODS 15 (INDICADOR 15.3.1)

La integración de cada uno de los sub-indicadores (productividad, cambios de cobertura y el contenido de carbono orgánico del suelo), permite la construcción del indicador 15.3.1 como se muestra en la tabla 12.

Tabla 12
Resumen del indicador ODS 15.3.1

Descripción	Área (Km ²)	Porcentaje del área total de tierra
Área total de tierras:	103,0	100,00%
Área de tierras con productividad mejorada:	61,8	60,01%
Área de tierras con productividad estable:	29,3	28,40%
Áreas de tierras con productividad degradada	11,9	11,59%
Área de tierras sin datos de productividad:	0,0	0,00%

Fuente: Cedeño, 2022

Se observa que las tierras con productividad mejorada ascienden a 61,8 Km², mientras que las tierras con productividad estable están por el orden de 29,3 Km² (28,40%) y por último las tierras con productividad degradada presentan un valor de 11,9 Km² (11,59%). Tomando en consideración el tamaño de la cuenca (103 Km²) los resultados obtenidos deben tomarse con cierta cautela a la hora de elaborar propuestas para la recuperación de la cuenca, haciendo énfasis en tratar de recuperar aquellas zonas de alta pendiente y que son protectoras de los principales tributarios del río Macapo. La figura 12 resume de manera gráfica el indicador 15.3.1.

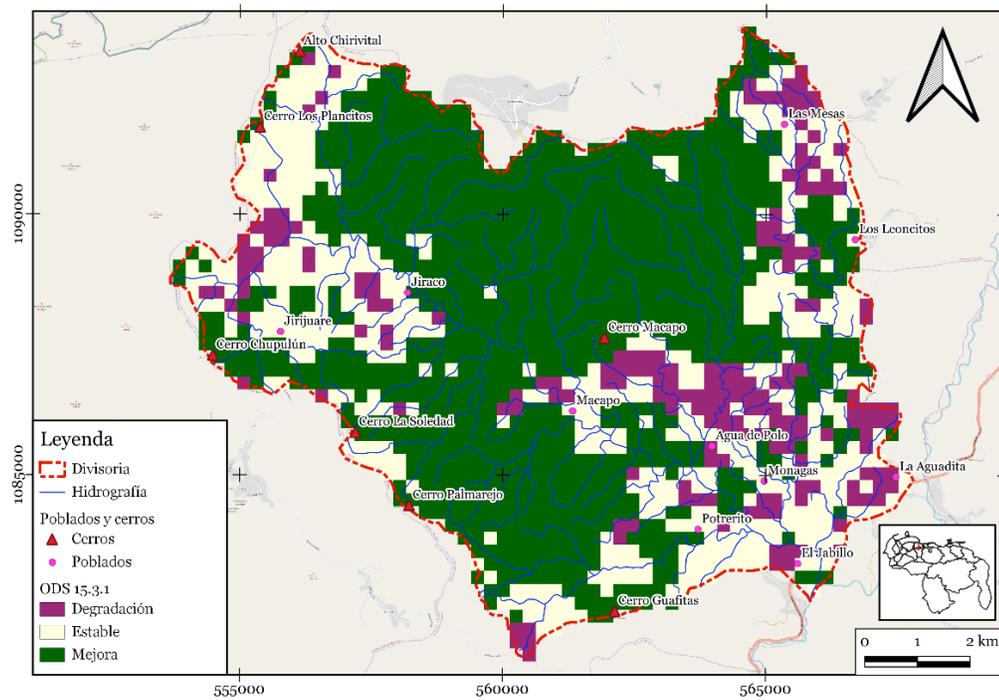


Figura 12. Indicador 15.3.1 en la cuenca del río Macapo

Las zonas con mayor extensión espacial de degradación en los suelos se ubican en la periferia de los siguientes sectores: Agua de Polo, Las Mesas, la Aguadita, Jiraco, Macapo, Cerro Macapo y el Jabillo (mostrados en color púrpura). Las zonas en tonalidad blanca se encuentran estable y las zonas en tonalidad verde están en mejora.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIÓN

CONCLUSIONES

Las principales conclusiones que se desprenden son:

En un lapso de 20 años, en la CRM, la dinámica de cambio en la cobertura-uso del suelo se manifiesta así: la clase Bosques presenta un aumento mientras que la clase Pastizales se mantiene y la clase Cultivos disminuye en extensión. La fragmentación del paisaje en la CRM es un proceso esperable dado la larga tradición agrícola de sus pobladores. Sin embargo, su prevalencia en las zonas altas de la cuenca es preocupante en términos ambientales.

La dinámica de degradación atribuida a la productividad biológica muestra que: el área de suelo con productividad mejorada asciende a 61,7 Km² (58,89%), el área de suelo con productividad estable es de 29,4 Km² (28,52%) y el área de suelo con productividad degradada es de 11,9 Km² (11,59%).

La tasa de cambio total en el stock de carbono orgánico en el suelo es de 910,51 Ton, la categoría cultivos presenta un cambio apreciable en el stock de carbono orgánico del suelo pasando de 79,06 Ton/ha a 80,08 Ton/ha. Igualmente, es plausible señalar que las categorías Bosques y Cultivos muestran cambios apreciables en el stock de carbono orgánico del suelo en el período analizado 2001-2020; estas condiciones hacen presumir que se puede acentuar la degradación del suelo por erosión, compactación, pérdida de nutrientes, lavado, acidificación y/o salinización, y en general, provocar una disminución en la biodiversidad del suelo.

La dinámica integral de la degradación de la productividad de la tierra en la CRM alcanza un porcentaje importante del área que asciende a 11,59% de su área.

Cuando se elaboraren propuestas para la recuperación de la CRM, se debe hacer énfasis en tratar de recuperar aquellas zonas de alta pendiente.

RECOMENDACIONES

Se recomienda profundizar el estudio con respecto a tratar de identificar a detalle las diferentes zonas que presentan degradación de la tierra, para poder acometer los diferentes planes de recuperación de la CRM, y poder mejorar la adaptación al cambio climático. De igual forma, es plausible poder replicar estos estudios en las restantes cuencas del estado Cojedes así como sus diferentes Áreas Bajo Régimen de Administración Especial (ABRAES).

REFERENCIAS

- Al-Kaisi, M. M., R. W. Elmore, J. G. Guzman, H. M. Hanna, Ch. E. Hart, M. J. Helmers, E. W. Hodgson, A. W. Lenssen, A. P. Mallarino, A. E. Robertson, and J. E. Sawyer. 2012. Drought impact on crop production and the soil environment: 2012 experiences from Iowa. *J. Soil Water Conserv.* 68: 19-24.
- Arias, F. G. (2012). El proyecto de investigación. Introducción a la metodología científica. 6ta. Fidiás G. Arias Odón.
- Black, R. 2010. Water map shows billions at risk of water insecurity. *Science & Environment, BBC News.* <http://www.bbc.co.uk/news/science-environment-11435522> (Consulta: noviembre, 2022).
- Casadio, K. (2023). Estudio de la degradación de la tierra en el Parque Nacional General Manuel Manrique del municipio San Carlos, estado Cojedes. Trabajo de Grado. Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales "Ezequiel Zamora". 49 pp.
- Chuvieco, E. (2008). Fundamentos de teledetección espacial. *Estudios Geográficos*, 59, 135.
- Cruse, R. M. 2012. Agriculture: Is climate change a serious issue? 3212 *Agronomy/Iowa State University.* Ames, IA, USA.
- Chen, Ang, Xiuchun Yang, Bin Xu, Yunxiang Jin, Jian Guo, Xiaoyu Xing, Dong Yang, Ping Wang, and Libo Zhu. (2021). "Monitoring the Spatiotemporal Dynamics of Aeolian Desertification Using Google Earth Engine" *Remote Sensing* 13, no. 9: 1730. Disponible en <https://doi.org/10.3390/rs13091730>. (Consulta: noviembre, 2022).
- De la Colina Rodríguez, A. J., Luis Machin, J. A., & Cuzán Fajardo, Y. (2016). Cartografía de la degradación de tierras en el Ecosistema Sabana-Camaguey (ESC). Cuba. Convención Trópico 2016. Memorias.
- Dubertret, Fabrice, François-Michel Le Tourneau, Miguel L. Villarreal, and Laura M. Norman. (2022). "Monitoring Annual Land Use/Land Cover Change in the Tucson Metropolitan Area with Google Earth Engine (1986–2020)" *Remote Sensing* 14, no. 9: 2127. Disponible en <https://doi.org/10.3390/rs14092127>. (Consulta: noviembre, 2022).
- Easdale, M. H., Fariña, C., Hara, S., León, N. P., Umaña, F., Tiftonell, P., & Bruzzone, O. (2019). Trend-cycles of vegetation dynamics as a tool for land degradation assessment and monitoring. *Ecological Indicators*, 107, 105545. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1470160X19305308?via%3Dihub>. (Consulta: noviembre, 2022).
- Gnacadja, L. 2015. New challenges in science and policies to combat desertification. *J. Arid Environ.* 112: 1-4.
- Grainger, A. (2015). Is land degradation neutrality feasible in dry areas? *J. Arid Environ.* 112: 14-24.
- González M., F. (2012). Las zonas áridas y semiáridas de México y su vegetación. SEMARNAT-INECC. México, D. F.

- Hernández, R. Fernández, C. Baptista, P. (2014). Metodología de la Investigación. Editorial Mc Graw Hill 6ta. Edición, 613 pp.
- Labrador García, M., Évora Brondo, J. A., & Arbelo Pérez, M. (2012). Satélites de Teledetección para la gestión del territorio. La Laguna, España: Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Aguas del Gobierno de Canarias.
- Linares, E. (2022). Dinámica espacio temporal de las tendencias de degradación del suelo en el estado Carabobo usando percepción remota. Tesis Doctoral. Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales "Ezequiel Zamora". 138 pp.
- Liu, Chenli, Wenlong Li, Gaofeng Zhu, Huakun Zhou, Hepiao Yan, and Pengfei Xue. (2020). "Land Use/Land Cover Changes and Their Driving Factors in the Northeastern Tibetan Plateau Based on Geographical Detectors and Google Earth Engine: A Case Study in Gannan Prefecture" Remote Sensing 12, no. 19: 3139. Disponible en <https://doi.org/10.3390/rs12193139>. (Consulta: noviembre, 2022).
- López Santos, Armando. (2016). Neutralizar la degradación de las tierras, una aspiración global. ¿Es posible lograrlo en México? Terra Latinoamericana, 34(2), 239-249. Recuperado en noviembre, 2022, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792016000200239&lng=es&tlng=es.
- Mogollón, J. P., Rivas, W., Rivas, J. G., & Martínez, A. (2017). PROCESOS DE DEGRADACIÓN DE SUELOS ASOCIADOS A LA DESERTIFICACIÓN EN LA PENÍNSULA DE PARAGUANÁ, VENEZUELA. Disponible en: <http://bdigital2.ula.ve:8080/xmlui/handle/654321/4663>. Consulta: noviembre, 2022
- Naciones Unidas (2018), La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe (LC/G.2681-P/Rev.3), Santiago. Disponible en línea en: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40155/24/S1801141_es.pdf. Consulta: noviembre, 2022
- Olivares-Campos, B. O., López-Beltrán, M. A., & Lobo-Luján, D. (2019). Cambios de usos de suelo y vegetación en la comunidad agraria Kashaama, Anzoátegui, Venezuela: 2001-2013. Revista Geográfica de América Central, (63), 224-246. Disponible en: https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S2215-25632019000200224&script=sci_arttext. Consulta: noviembre, 2022
- Paredes, T., F. (2009). Nociones Elementales de la Climatología e Hidrología del estado Cojedes. Publicaciones del Area de Estudios de Postgrado – Serie Investigación. UNELLEZ, San Carlos, Cojedes - Venezuela
- Palella, S., y Martins, F. (2012). Metodología de la Investigación Cuantitativa. FEDUPEL. Caracas, Venezuela.
- Pérez Martín, B., Serna Martínez, A., Delgado Hernández, J., Caballero García, M., & Villa Alcázar, G. (2020). El Programa Copernicus para la monitorización del territorio y los Objetivos del Desarrollo Sostenible. Instituto Geográfico Nacional (IGN). Madrid, ES: Diponible en: DOI, 10(162.13), 2020. Consulta: noviembre, 2022

- Rumbo, L. Paredes, F. (2023). Productividad biológica de la tierra, cuenca del río Tinaco, Cojedes, Venezuela. *AGROLLANIA*, Vol. 22, 2023, en prensa.
- Sims, N. C., Green, C., Newnham, G. J., England, J. R., Held, A., Wulder, M. A., & McKenzie, N. (2017). Good practice guidance. SDG indicator 15.3.1: proportion of land that is degraded over total land area. In United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD), Bonn, Germany
- Stavi, I and R. Lal. (2014). Achieving zero net land degradation: Challenges and opportunities. *J. Arid Environ.* 112: 44-51.
- Trends.Earth. Conservación Internacional. Disponible en línea en: <http://trends.earth>. 2018. Consulta: noviembre, 2022
- UNCCD (United Nations Convention to Combat Desertification). (2013b). 2da Conferencia Científica de la CLD; Aspectos económicos de la desertificación, la degradación de las tierras y la sequía: Metodologías y análisis para la toma de decisiones. Disponible en <http://2sc.unccd.int/es/inicio>. Consulta: noviembre, 2022.
- UNCCD (United Nations Convention to Combat Desertification). (2016). Climate change and desertification: Anticipating, assessing & adapting to future change in drylands. Impulse report for 3rd SC-UNCCD. Ed. UNCCD co-edition of Agropolis International. ISBN: 978-2-35682-379-3 Montpellier, France
- Venezuela. (1999). Constitución de la República Bolivariana de Venezuela. Gaceta Oficial N° 36.860. Caracas, diciembre 30.
- Venezuela. (2013). Asamblea Nacional de la República Bolivariana de Venezuela. Proyecto Nacional Simón Bolívar. Segundo Plan Socialista: Desarrollo Económico y Social de la Nación 2013-2019. Caracas. Venezuela 2013. [Documento en línea].