



UTMACH

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA FACULTAD DE
CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**MAESTRIA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES CON MENCIÓN EN
MANEJO Y PRESERVACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES**

**ANÁLISIS DE TENDENCIA DEL NDVI EN LA SUBCUENCA DEL RÍO
CASACAY, ECUADOR (1989-2022)**

NESTOR ANDRES CASTILLO VILLAVICENCIO

TESIS

TUTOR. LUNA ROMERO ANGEL EDUARDO

MACHALA

2024

PENSAMIENTO

**"LA EDUCACIÓN ES LA CLAVE PARA LIBERAR LA MENTE Y EL ALMA DE
LA IGNORANCIA."**

Bob Marley

DEDICATORIA

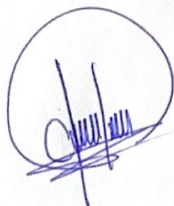
Les dedico este trabajo de titulación a mis queridos padres, cuyo amor incondicional y apoyo inquebrantable han sido mi roca durante todo este viaje. A mi hermano, por su constante inspiración y aliento. A mi enamorada, por su paciencia, comprensión y motivación constante. Y a mis estimados docentes, cuya sabiduría, orientación y dedicación han sido fundamentales en mi formación académica. Esta tesis está dedicada a ustedes, con profundo agradecimiento por su presencia en mi vida y por ser mi fuente de inspiración

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero expresar mi profundo agradecimiento a Dios, cuya guía y bendiciones han iluminado cada paso de este camino académico. A mis padres, por su amor incondicional, su apoyo inquebrantable y sus sacrificios incansables que han hecho posible este logro. A mi hermano, por ser mi compañero de vida y mi fuente constante de inspiración. A mi enamorada, por su amor, paciencia y constante estímulo durante este proceso. También quiero agradecer al Ing. Eduardo Luna por sus valiosas enseñanzas y su colaboración invaluable en el desarrollo de esta tesis. Sus orientaciones y contribuciones han enriquecido enormemente este trabajo. Este logro no habría sido posible sin el apoyo y la influencia de cada uno de ustedes.

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Yo, Nestor Andrés Castillo Villavicencio con número de cédula: 0704606268, declaro que el trabajo de "ANÁLISIS DE TENDENCIA DEL NDVI EN LA SUBCUENCA DEL RÍO CASACAY, ECUADOR (1989-2022)", en opción al título de Magister en RECURSOS NATURALES RENOVABLES CON MENCIÓN EN MANEJO Y PRESERVACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES, es original y auténtico; cuyo contenido: conceptos, definiciones, datos empíricos, criterios, comentarios y resultados son de mi exclusiva responsabilidad.



Ing. Agron. NESTOR ANDRES CASTILLO VILLAVICENCIO

Número de cedula: 0704913904

Machala, 2024/abril/24

REPORTE DE SIMILITUD TURNITTIN

ANÁLISIS DE TENDENCIA DEL NDVI EN LA SUBCUENCA DEL RÍO CASACAY, ECUADOR (1989-2022)

INFORME DE ORIGINALIDAD

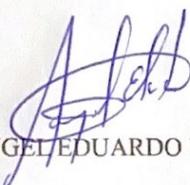
6%	6%	1%	0%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	www.produccioncientificaluz.org Fuente de Internet	2%
2	www.researchgate.net Fuente de Internet	1%
3	linguatoools.de Fuente de Internet	1%
4	www.ehu.eus Fuente de Internet	<1%
5	docweb.epagri.sc.gov.br Fuente de Internet	<1%
6	fdocuments.mx Fuente de Internet	<1%
7	muac.unam.mx Fuente de Internet	<1%
8	ola.icmyl.unam.mx Fuente de Internet	<1%
9	uvadoc.uva.es Fuente de Internet	

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Yo, Luna Romero Ángel Eduardo con número de cédula 0704361831 ; tutor del trabajo de "ANÁLISIS DE TENDENCIA DEL NDVI EN LA SUBCUENCA DEL RÍO CASACAY, ECUADOR (1989-2022)", en opción al título de Magister en RECURSOS NATURALES RENOVABLES CON MENCIÓN EN MANEJO Y PRESERVACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES, ha sido revisado, enmarcado en los procedimientos científicos, técnicos, metodológicos y administrativos establecidos por el Centro de Posgrado de la Universidad Técnica de Machala (UTMACH), razón por la cual doy fe de los méritos suficientes para que sea presentado a evaluación.



ÁNGEL EDUARDO LUNA ROMERO

Cedula: 0704361831

Machala, 2024/abril/24

CESIÓN DE DERECHO DE AUTORÍA

Yo, Nestor Andrés Castillo Villavicencio, con número de cédula: 0704606268, autor del trabajo de titulación “ANÁLISIS DE TENDENCIA DEL NDVI EN LA SUBCUENCA DEL RÍO CASACAY, ECUADOR (1989-2022)”, declaro bajo juramento que:

- El trabajo aquí descrito es de mi autoría, que no ha sido presentado previamente para ningún grado o calificación profesional. En consecuencia, asumo la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.
- Cede a la Universidad Técnica de Machala de forma exclusiva con referencia a la obra en formato digital los derechos de:
 - a) Incorporar la mencionada obra en el repositorio institucional para su demostración a nivel mundial, respetando lo establecido por la Licencia Creative Commons Attribution-NoCommercial – Compartir Igual 4.0 Internacional (CC BY NCSA 4.0); la Ley de Propiedad Intelectual del Estado Ecuatoriano y el Reglamento Institucional.
 - b) Adecuarla a cualquier formato o tecnología de uso en INTERNET, así como correspondiéndome como autor la responsabilidad de velar por dichas adaptaciones con la finalidad de que no se desnaturalice el contenido o sentido de la misma.

NESTOR ANDRES CASTILLO VILLAVICENCIO

Número de cedula: 0704606268

Machala, 2024/abril/24

CARTA DE ACEPTACIÓN



RPNS: 2090 - ISSN: 2074-0735

Universidad de Granma, Bayamo MN, Cuba.
Carretera de Manzanillo Km 17 1/2 Bayamo, Granma, Cuba, C.P. 85100.
<https://revistas.udg.co.cu/index.php/roca>



CERTIFICADO

por la presente se certifica que:

Nestor Andrés Castillo Villavicencio

Se le aprueba publicación del **ARTÍCULO CIENTÍFICO:**

ANÁLISIS DE TENDENCIA DEL NDVI EN LA SUBCUENCA DEL RÍO CASACAY, ECUADOR (1989-2022)

Acreditando su publicación en el Volumen 20, Número 4 de Agosto del año 2024.

La revista electrónica Roca es una publicación de carácter científico-educacional encargada de promover los resultados más relevantes de los profesionales de la educación en la provincia de Granma, Cuba y Latinoamérica. Sus objetivos principales se dirigen a mostrar los progresos de la actualidad científica y educacional en el área y de propiciar el intercambio de experiencias entre los investigadores de distintas comunidades científicas.

La Revista se edita en el Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación de la Universidad de Granma, ubicada en Peralejo, municipio Bayamo de la provincia Granma. Se publica en formato electrónico mediante el sistema de Publicación Continua, como garantía de la publicación de un contenido oportuno y actualizado con relación al desarrollo de la investigación de origen.

Universidad de Granma, Bayamo, Cuba.
15 días del mes de marzo de 2024.



Dr. C. María Isabel Machado Solano
Directora Revista Roca.



**ANÁLISIS DE TENDENCIA DEL NDVI EN LA SUBCUENCA DEL RÍO
CASACAY, ECUADOR (1989-2022)**

**TREND ANALYSIS OF NDVI IN THE CASACAY RIVER SUB-BASIN,
ECUADOR (1989-2022)**

Nestor Andrés Castillo Villavicencio^{1,2}

E-mail: ncastillo3@utmachala.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-0088-1456>

¹Maestría de Recursos Naturales Renovables, Universidad Técnica de Machala, Av.
Panamericana km.5 ½ vía Machala – Pasaje, El Oro, Ecuador

²Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Técnica de Machala, Av.
Panamericana km.5 ½ vía Machala – Pasaje, El Oro, Ecuador

RESUMEN

Los cambios en la cobertura vegetal son indicadores que pueden dar lugar a la erosión del suelo o a su pérdida funcional.; por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue analizar la tendencia del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) en la subcuenca del río Casacay, para el período 1989-2022. Abordando la evolución de la cobertura vegetal, utilizando imágenes Landsat para obtener el NDVI. Con el fin de identificar cambios en la vegetación y su posible relación con el cambio climático y la actividad humana. Observamos una tendencia general hacia valores negativos de NDVI, indicativos de una disminución en la actividad vegetal. Esta tendencia se atribuye al posible impacto del cambio climático y la actividad antropogénica en las últimas décadas. Aunque la información entre 2000 y 2012 está ausente debido a condiciones climáticas adversas y fallas en Landsat +7, se destaca la importancia del monitoreo

continuo de la cobertura vegetal para comprender los cambios en los ecosistemas y apoyar la gestión ambiental y la adaptación al cambio climático. Estas herramientas son esenciales para la conservación sostenible a largo plazo de los recursos naturales.

Palabras clave: NDVI, Casacay, Mann Kendall, Landsat

ABSTRACT

Changes in vegetation cover are indicators that can lead to soil erosion or functional loss. Therefore, the objective of this research was to analyze the trend of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) in the Casacay River sub-basin for the period 1989-2022. Addressing the evolution of vegetation cover, using Landsat images to obtain the NDVI, in order to identify changes in vegetation and their possible relationship with climate change and human activity. A general trend towards negative NDVI values, indicative of a decrease in vegetation activity, is observed. This trend is attributed to the possible impact of climate change and anthropogenic activity in recent decades. Although information between 2000 and 2012 is absent due to adverse weather conditions and failures in Landsat +7, the importance of continuous monitoring of vegetation cover to understand changes in ecosystems and support environmental management and adaptation to climate change is highlighted. These tools are essential for the long-term sustainable conservation of natural resources.

Keywords: NDVI, Casacay, Mann Kendall, Landsat

INTRODUCCIÓN

En Ecuador, durante las últimas décadas, se ha observado transformaciones significativas en la vegetación natural y en el uso de la tierra. Estos cambios han involucrado la conversión de áreas con potencial agrícola en zonas urbanas, así como la

reubicación de tierras agropecuarias hacia áreas con vegetación nativa. Estos procesos han llevado a la pérdida de la función social y ambiental del suelo. Además, en los páramos se evidencia la disminución de la diversidad florística debido a la presencia de actividad ganadera (Romo Rojas & Calero Romo, 2022).

El uso de bases de datos de imágenes satelitales se presenta como una valiosa herramienta para examinar las modificaciones que ocurren en diversos aspectos del funcionamiento de los ecosistemas. Estas aplicaciones resultan de gran importancia tanto para el avance del conocimiento en este campo como para la gestión eficiente de áreas protegidas. Adicionalmente, el empleo de imágenes Landsat resulta de vital importancia al llevar a cabo un análisis de la evolución del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI, por sus siglas en inglés) (Mejía et al., 2021).

Por otro lado, existe una amplia variedad de índices de vegetación, entre ellos se encuentra el NDVI. Este índice se utiliza para evaluar la capacidad fotosintética y la resistencia estomática de las plantas en relación con la transmisión de vapor de agua. Es decir, el NDVI, se basa en la respuesta de las plantas a la luz en diferentes longitudes de onda. Las zonas con vegetación saludable, que presentan una alta actividad fotosintética, tienden a absorber más luz visible y a reflejar una cantidad considerable de luz infrarroja cercana. Por otro lado, las áreas con vegetación menos vigorosa o dispersa, donde la fotosíntesis es limitada, reflejan una mayor proporción de luz visible y una menor cantidad de luz infrarroja cercana, lo que se traduce en valores de NDVI más bajos (Silvia et al., 2019).

En la cuenca del río Jubones, se pueden identificar distintos patrones discretos de ocupación del terreno. Estos abarcan áreas con arbustos, praderas, cultivos, pastizales, vegetación de páramo, bosques, zonas arboladas, terrenos áridos y sectores urbanizados. El páramo, ecosistema andino característico de la región sierra del

Ecuador, desempeña un papel fundamental como fuente principal de recursos hídricos, abarca alrededor del 24% del área total del Jubones. La composición de suelos es diversa y heterogénea, siendo los tipos de suelo dominantes el inceptisol y el entisol (Hasan & Wyseure, 2018).

Uno de los principales desafíos en la subcuenca del río Casacay es la erosión, un problema que causa la degradación tanto en la cantidad como en la calidad del agua. Esta situación es resultado de diversos fenómenos y está estrechamente relacionada con el uso del suelo, las condiciones climáticas, la topografía, la geología y la edafología. La pendiente pronunciada favorece la ocurrencia de crecidas y facilita el transporte de sedimentos, lo cual se ve agravado por la estructura débil y la textura fina de la mayoría de los suelos presentes. Por lo tanto, la planificación de medidas de intervención en la subcuenca hidrográfica debe considerar cuidadosamente la gestión del suelo y del agua para abordar eficazmente este problema.

Por otra parte, la subcuenca Casacay ha experimentado problemas significativos debido al incremento progresivo de la ganadería. A lo largo de los años, este aumento ha resultado en la deforestación del bosque primario, convirtiéndolo en áreas dedicadas a la cría de ganado y cultivos. Estos cambios en el uso de la tierra han dado lugar a diversos problemas ambientales, como la contaminación del agua, la erosión del suelo, la falta de control en la escorrentía y alteraciones en los cursos de agua.

De acuerdo con la revisión bibliográfica realizada, se ha encontrado una insuficiente cantidad de estudios que aborden la evolución temporal de la cobertura vegetal en la subcuenca Casacay. No obstante, a nivel global y regional, existe una amplia gama de investigaciones que tratan esta temática. En el contexto de Ecuador, se han llevado a cabo algunos estudios que resultan útiles para el análisis en la zona de estudio. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es el objetivo analizar la tendencia del

NDVI (índice de vegetación de diferencia normalizada) en la subcuenca del río Casacay, Ecuador, para el periodo 1989-2022, empleando información de percepción remota y datos de imágenes satelitales. Investigando la dinámica de cambio en la cobertura vegetal en esta área específica a lo largo de veinte años.

MATERIALES Y METODOS

La subcuenca Casacay se encuentra ubicada en la provincia de El Oro tiene un área de 12 178 ha, en el ámbito político-administrativo abarca los cantones de Pasaje y Chilla. Además, la misma se encuentra delimitada en la siguiente figura en coordenadas WGS84 UTM zona 17S (Figura 1).

Dado que Ecuador se ubica en la Zona de Convergencia Intertropical (ITCZ, por sus siglas en inglés), las formaciones nubosas son comunes, junto con bancos de nubes densas que se presentan en distintas altitudes a lo largo de la Cordillera Real de los Andes (CRJ) con una frecuencia diaria, integrando sistemas de información geográfica (GIS). En este contexto, el área de estudio se limitó a altitudes entre 1200 y 3550 metros sobre el nivel del mar (msnm), debido a la elevada incidencia de nubosidad tanto en la región costera como en la zona alto-andina (Anguisaca et al., 2021).

Obtención de imágenes satelitales

Las imágenes utilizadas fueron obtenidas a través de Google Earth Engine (GEE), una plataforma de procesamiento geoespacial. GEE proporciona acceso a una amplia colección de imágenes satelitales y datos geoespaciales, los cuales se utilizan para realizar análisis y estudios sobre la Tierra a escala global. Esta plataforma ofrece herramientas avanzadas de procesamiento y análisis, así como una interfaz de programación de aplicaciones (API, por sus siglas en inglés) web y entornos de desarrollo integrados que permiten a los usuarios realizar investigaciones personalizadas

y obtener información detallada sobre diversos fenómenos geográficos y ambientales (Roque, 2022).

Características de las imágenes satelitales

El proyecto Landsat, por más de cuarenta años, ha proporcionado información espacial con una resolución moderada (~30m), de forma continua desde 1972 hasta la actualidad. Se han puesto en órbita ocho series de satélites Landsat con el propósito de llevar a cabo la Observación de la Tierra. Destacando, Landsat 6 fue el único satélite que no logró completar su órbita correctamente. Durante las últimas cuatro décadas, los demás satélites de la serie han representado un recurso singular que ha contribuido a la investigación y aplicaciones relacionadas con el cambio global, abarcando campos como la agricultura, la cartografía, la geología, la silvicultura, la planificación regional, la vigilancia y la educación.

El Landsat 7, lanzado el 15 de abril de 1999, experimentó fallas en su sensor ETM+ a partir de mayo de 2003, lo que resultó en la desactivación del SLC. Desde el 14 de julio de ese año, las escenas capturadas muestran líneas de datos inválidos conocidas como "gaps". El SLC es crucial ya que compensa el movimiento del satélite durante la captura de imágenes, sin él, el sensor produce un patrón de zigzag, dejando partes de los datos duplicados y otras áreas sin registrar, marcadas con un valor de 0. Estas imágenes muestran datos reales intercalados con franjas negras, lo que equivale a un valor de 0 en todos los canales. Estos gaps provocan la pérdida de aproximadamente el 22% de la información en cada imagen y se presentan en franjas inclinadas hacia la izquierda a unos 8° respecto a la orientación horizontal, con intervalos de 33 píxeles. En el borde de la imagen, estas franjas tienen hasta 15 píxeles de ancho y disminuyen gradualmente hacia el centro hasta desaparecer. Según el USGS, la zona sin gaps tiene alrededor de 22 km de ancho. Esto significa que en el borde de la escena, se pierde el 45% de los datos

debido a una anchura de 15 píxeles combinada con una distancia de 33 píxeles entre los gaps (Rodríguez, 2009).

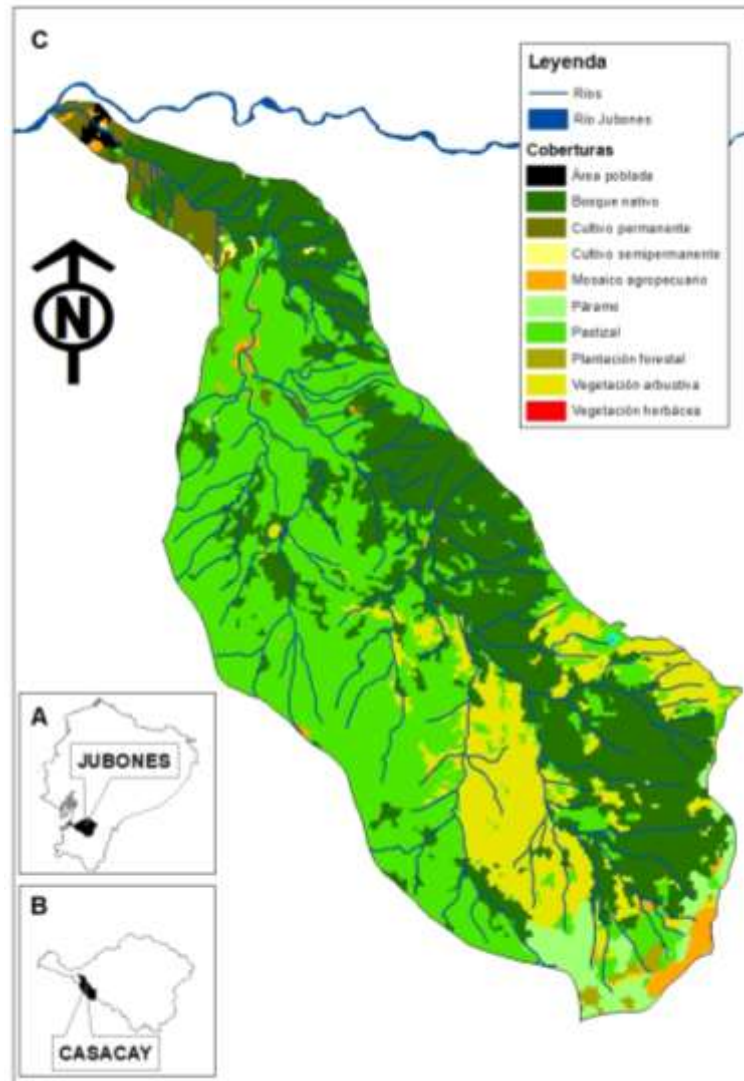


Figura 1. Ubicación de la subcuenca Casacay, A) Ubicación de la cuenca del río Jubones en Ecuador, B) Ubicación de la subcuenca Casacay en la cuenca del río Jubones, C) Área de estudio, subcuenca Casacay, se denotan la clasificación del uso del suelo.

La serie Landsat 4-7 incluye los sensores Thematic Mapper (TM) o Enhanced Thematic Mapper (ETM+), que presentan una resolución espacial más detallada y una resolución radiométrica superior al tamaño máximo de segmento. Este conjunto de satélites también se caracteriza por una cobertura espectral más amplia, incluyendo la incorporación de bandas en las longitudes de onda de infrarrojo de onda corta (SWIR) e infrarrojo térmico. Los satélites en la categoría TM/ETM+ tienen ciertas diferencias en sus características. Además del instrumento TM, los satélites Landsat 4-5 incluían un escáner de tamaño máximo de segmento a bordo. En el caso de Landsat 7, se añadió una banda pancromática con una mayor resolución espacial. Por su parte, Landsat 8 se encuentra equipado con el Land Imager Operativo (OLI) y sensores de Infrarrojo Térmico (TIRS). El OLI extiende la resolución espectral del grupo TM mediante la incorporación de una banda azul profundo y una banda de cirrus. Mientras tanto, TIRS introduce una segunda banda térmica (Young et al., 2017).

Procesamiento de imágenes

Conversión de número digital a valores de reflectancia

La corrección atmosférica se divide en dos categorías principales: la corrección absoluta, que implica la conversión de los números digitales a reflectancia superficial, y la corrección relativa, en la cual los valores de número digital (DN) en imágenes corregidas representan la misma reflectancia, independientemente de la reflectancia real presente en la superficie terrestre.

La sustracción de objetos oscuros (DOS, por sus siglas en inglés) se presenta como uno de los métodos más sencillos, pero ampliamente empleados en corrección atmosférica absoluta basada en imágenes en aplicaciones relacionadas con la clasificación y la detección de cambios. Este método parte del supuesto de que en toda

una escena capturada por Landsat TM existen objetos oscuros, es decir, aquellos con una reflectancia superficial próxima a cero o muy baja, y que la atmósfera se encuentra horizontalmente homogénea (Song et al., 2001).

Corrección topográfica

La corrección topográfica en imágenes satelitales es esencial para contrarrestar las distorsiones ocasionadas por la topografía del terreno, mejorando así la precisión de la información radiométrica y geométrica adquirida desde el espacio. Este proceso aborda desafíos como sombras, distorsiones geométricas y variaciones en la reflectancia debido a la altitud, empleando métodos como modelos digitales de elevación (DEM), correcciones atmosféricas y ajustes altimétricos.

Crear un stack (apilamiento de las bandas)

El apilamiento, una técnica de ensamblaje de dos o más capas, combina los resultados de diversos modelos base mediante un nuevo modelo meta para optimizar el rendimiento. Esta estrategia corrige errores potenciales en los modelos base, resultando en una mejora global en el rendimiento del modelo integrado y maximizando las ventajas de cada modelo en cierta medida (Cao et al., 2021).

Obtención del NDVI y análisis de tendencia

La amplia aplicación del Índice de Diferencia Normalizada de Vegetación (NDVI) en teledetección destaca su relevancia en la monitorización de la salud vegetal. Este índice específico evalúa tanto la vitalidad como la presencia de vegetación no saludable mediante la absorción del canal rojo y la reflexión en el Infrarrojo Cercano por parte de la vegetación sana. La discrepancia entre estas bandas permite la identificación precisa de áreas con vegetación en distintas condiciones. Dada la variabilidad en los índices NDVI asociados a diferentes tipos de vegetación, este índice

proporciona un respaldo valioso a los clasificadores en sus tareas de categorización. Además, el NDVI sirve como una medida efectiva de la actividad fotosintética, presentando una fuerte correlación con la densidad y vitalidad general de la vegetación.

Cuando el NDVI tiene un valor elevado, esto sugiere una mayor densidad de vegetación presente en la zona analizada. Por otro lado, un valor bajo de NDVI señala una menor presencia de vegetación en el área. Cabe resaltar que los valores negativos reflejan la presencia de cuerpos de agua. El NDVI tiene un rango que va desde -1 hasta 1, utiliza las bandas de infrarrojo cercano (NIR) y rojo visible del espectro electromagnético, y su cálculo se realiza mediante la siguiente fórmula (Aryastana et al., 2022):

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{Red}) / (\text{NIR} + \text{Red})$$

Análisis de tendencia Mann-Kendall

La prueba de Mann-Kendall, una de las herramientas no paramétricas más empleadas para identificar tendencias en series temporales, se origina en la prueba de correlación de rangos propuesta por Kendall en 1955. En esta evaluación de tendencia, se examina la correlación entre la clasificación de los valores observados y su orden cronológico. La hipótesis nula de la prueba postula que los datos son independientes y se disponen de manera aleatoria, es decir, no existe una estructura de correlación serial ni tendencia en las observaciones. La formulación de la prueba de correlación de rangos para dos conjuntos de observaciones, $X=X_1, X_2, \dots, X_n$ e $Y=Y_1, Y_2, \dots, Y_n$, se expresa mediante el estadístico S , calculado según la ecuación $S = \sum_{i < j} a_{ij} b_{ij}$ (Hamed & Ramachandra, 1998). Este enfoque se revela esencial para el análisis de tendencias en diversas disciplinas científicas, al proporcionar una metodología rigurosa y eficaz en la detección de patrones temporales en datos no paramétricos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

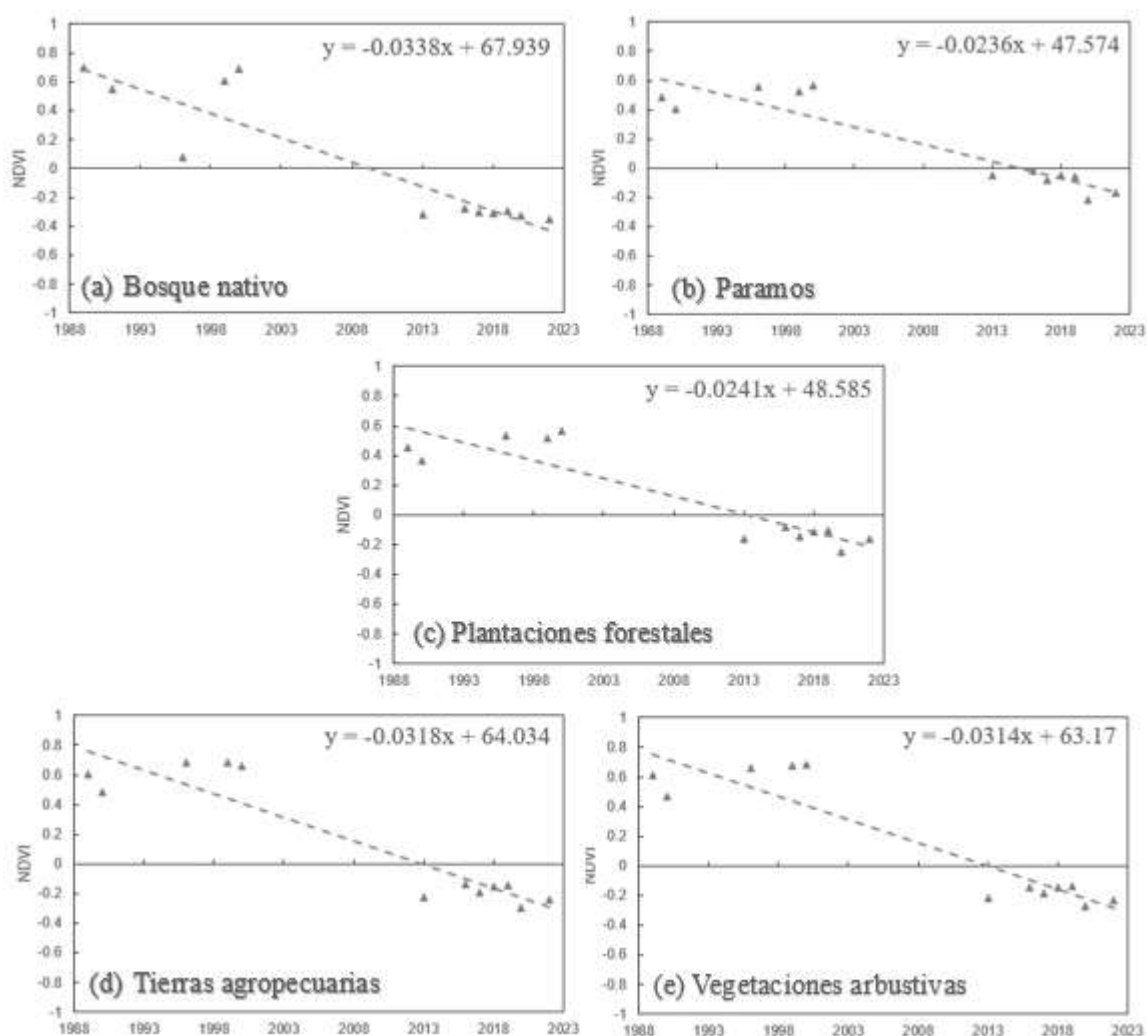


Figura 2 Cambios en el área de diferentes tipos de cobertura terrestre utilizando regresiones lineales

Los resultados del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) derivados de las imágenes captadas por el satélite Landsat durante el periodo comprendido entre 1989 y 2022, exhiben una notable variabilidad en todas las categorías de cobertura vegetal analizadas (bosques nativos, páramos, plantaciones

forestales, tierras agropecuarias y vegetación arbustiva). En particular, se observa una tendencia hacia valores positivos durante el lapso de 1989 a 2000. Es sumamente importante destacar que no fue posible obtener información para el período entre 2000 y 2012 debido a la presencia frecuente de nubosidad y las limitaciones inherentes al sensor de Landsat 7 durante ese intervalo temporal.

Por otro lado, se registra una marcada disminución en los valores del NDVI entre los años 2013 y 2022, como se evidencia en la (Figura 2). Este cambio en el patrón de comportamiento del NDVI coincide con un aumento notable en la actividad antrópica y se correlaciona con los efectos del cambio climático en la región bajo estudio. Este fenómeno sugiere una mayor presión sobre los ecosistemas vegetales durante el periodo más reciente, lo cual puede tener implicaciones significativas para la salud y la resiliencia de estos sistemas frente a los desafíos ambientales actuales y futuros. Al estudiar los datos proporcionados, se observa que el 41.67% de los valores del NDVI se sitúan por encima de cero, indicando un incremento en la actividad vegetal en esas áreas durante el período analizado. Este hallazgo es crucial para comprender la dinámica del crecimiento de la vegetación y su relación con factores ambientales como la temperatura y la disponibilidad de agua.

Por otro lado, el 58.33% restante de los valores del NDVI se encuentran por debajo de cero, lo que sugiere una disminución en la actividad vegetal en esas zonas. Este descenso puede estar relacionado con factores como la sequía, el estrés hídrico o la deforestación, todos los cuales pueden tener un impacto significativo en la salud y la diversidad de los ecosistemas.

Es importante destacar que la presencia de valores negativos en el NDVI no necesariamente indica una ausencia total de vegetación, sino más bien una disminución en la densidad o la salud de esta. Los resultados subrayan la importancia de monitorear

de cerca las tendencias del NDVI para comprender los cambios en la cobertura vegetal a lo largo del tiempo y tomar medidas adecuadas para conservar y gestionar de manera

Coberturas	Pendiente	Coefficiente Mann Kendall
Bosque nativo	$y = -0.0389x + 78.256$	-2.811**
Paramo	$y = -0.0236x + 47.574$	-2.674**
Plantación forestal	$y = -0.0241x + 48.585$	-2.263**
Tierra agropecuaria	$y = -0.0318x + 64.034$	-2.400**
Vegetación arbustiva	$y = -0.0314x + 63.17$	-1.989**

Tabla 1 Coeficiente Mann Kendall y ecuación de la pendiente de las coberturas vegetales sostenible los recursos naturales.

Basándose en los datos proporcionados en la (Tabla 1), se observa una variabilidad considerable en el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) a lo largo del tiempo y el espacio. Los resultados revelan una tendencia general hacia valores negativos en el NDVI, lo que sugiere una reducción en la actividad vegetal en la región bajo estudio. Según Morawitz et al., (2006), en su investigación también se documentan valores negativos en el NDVI, indicativos de posibles perturbaciones en las áreas vegetadas. Estas perturbaciones podrían originarse tanto de actividades antropogénicas, como la urbanización y la deforestación, como de influencias naturales, como los fenómenos climáticos.

Estos hallazgos resaltan la importancia de llevar a cabo un monitoreo cercano de los cambios en la cobertura vegetal y su relación con los factores ambientales y antropogénicos. Esta comprensión más profunda de la dinámica de los ecosistemas es

fundamental para desarrollar estrategias efectivas de conservación y manejo del medio ambiente.

Es esencial tener en cuenta estos resultados al planificar y gestionar el uso del suelo y los recursos naturales, con el fin de garantizar la sostenibilidad a largo plazo de los sistemas naturales y mejorar la calidad de vida de las comunidades locales.

Xue et al., (2021), manifiesta que el calentamiento global ha causado un incremento en el crecimiento de los bosques está en línea con las predicciones derivadas de modelos climáticos y observaciones en terreno. Sin embargo, los resultados relacionados con la tendencia general a la disminución en el valor de NDVI en la zona de estudio sugieren dinámicas más complejas que requieren una investigación adicional. La reducción en el valor de NDVI podría estar relacionada con varios mecanismos interconectados. La menor biomasa indica posibles cambios en la estructura vegetal, los cuales podrían estar influenciados por el calentamiento y sus efectos en la disponibilidad de agua y la productividad del suelo.

Gil & Ledezma (2020), menciona que los resultados de su investigación muestran una evolución significativa en los valores de NDVI a lo largo de 10 años, reflejando inicialmente una dinámica activa en la cobertura vegetal seguida de una tendencia negativa, indicativa de una disminución en la densidad vegetal y un aumento correspondiente en áreas con menor cobertura. La causa principal de este cambio parece estar relacionada con prácticas agropecuarias que incluyen la tala y quema de bosques para cultivos de ciclo corto, lo que conduce a la desertificación progresiva del terreno o su conversión en pastizales. Esto destaca la necesidad urgente de adoptar medidas de manejo sostenible de la tierra para mitigar la degradación del suelo y promover la conservación de los recursos naturales, así como el desarrollo de políticas efectivas para restaurar los ecosistemas afectados.

CONCLUSION

Se ha constatado una marcada tendencia hacia la pérdida significativa en el área de la parte alta en la subcuenca Casacay durante el período de estudio comprendido entre 1989 y 2022. Esta tendencia se refleja en una notable disminución en los niveles de Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), lo cual indica una reducción en la biomasa vegetal. Se destaca que la escasa área con tendencia positiva se concentra principalmente en los años 1989 a 2000, mientras que la información correspondiente al período de 2000 a 2012 no pudo ser obtenida debido a condiciones climáticas adversas, incluyendo una alta cobertura nubosa y un fallo en el sensor de Landsat 7.

En este contexto, se hace evidente la importancia de emplear herramientas avanzadas como los sistemas de información geográfica, la teledetección y los vehículos aéreos no tripulados para el seguimiento y monitoreo de la cobertura vegetal en áreas de

conservación, parques nacionales, entre otros. La información derivada de estos esfuerzos de seguimiento y monitoreo no solo contribuirá a la comprensión de la dinámica de los ecosistemas, sino que también respaldará estudios multidisciplinarios, como aquellos relacionados con la hidrología, y facilitará la toma de decisiones ante los desafíos planteados por el cambio climático. Estas herramientas son esenciales para una gestión efectiva y sostenible de los recursos naturales y el medio ambiente en el largo plazo.

BIBLIOGRAFIA

Anguisaca, J. D. C., Romero, A. E. L., Unda, S. A. B., & Aguilar, E. E. J. (2021). Análisis multitemporal de cambios de cobertura y uso del suelo: Cuenca del río Jubones, Ecuador. *Revista Científica Agroecosistemas*, 9(1), Article 1.

Aryastana, P., Mosa, M. I. G., Widiana, W., Putra, I. M. E. E., & Rustiawan, G. (2022). Application of normalized difference vegetation index in classifying land cover change over Bangli regency by using Landsat 8 imagery. *Journal of Infrastructure Planning and Engineering (JIPE)*, 1(1), Article 1.
<https://doi.org/10.22225/jipe.1.1.2022.8-14>

Cao, D., Xing, H., Wong, M. S., Kwan, M.-P., Xing, H., & Meng, Y. (2021). A Stacking Ensemble Deep Learning Model for Building Extraction from Remote Sensing Images. *Remote Sensing*, 13(19), Article 19. <https://doi.org/10.3390/rs13193898>

Gil, H. A. P., & Ledezma, E. Z. (2020). Variaciones de la cobertura vegetal empleando el índice normalizado de diferencia de vegetación para monitorear ODS en Manabí—Ecuador. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería. Universidad del Zulia*, 2, Article 2.

Hamed, K. H., & Ramachandra Rao, A. (1998). A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data. *Journal of Hydrology*, 204(1), 182–196. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(97\)00125-X](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(97)00125-X)

Hasan, M. M., & Wyseure, G. (2018). Impact of climate change on hydropower generation in Rio Jubones Basin, Ecuador. *Water Science and Engineering*, 11(2), 157–166. <https://doi.org/10.1016/j.wse.2018.07.002>

Mejía, V., Orellana, D., & Cabrera-Barona, P. (2021). Cambio de uso de suelo en la Amazonía norte del Ecuador: Un análisis a través de imágenes satelitales nocturnas VIIRS e imágenes LANDSAT. *Universidad-Verdad*, 1(78), Article 78. <https://doi.org/10.33324/uv.v1i78.355>

Morawitz, D. F., Blewett, T. M., Cohen, A., & Alberti, M. (2006). Using NDVI to assess vegetative land cover change in central Puget Sound. *Environmental Monitoring and Assessment*, 114(1–3), 85–106. <https://doi.org/10.1007/s10661-006-1679-z>

Rodríguez, N. (2009). *Rellenado de los gaps provocados por la falla del Scan Line Corrector en las imágenes Landsat 7 ETM+—PDF Descargar libre*. <https://docplayer.es/18549675-Rellenado-de-los-gaps-provocados-por-la-falla-del-scan-line-corrector-en-las-imagenes-landsat-7-etm.html>

Romo Rojas, M. G., & Calero Romo, E. (2022). Degradación de la vegetación de páramo por efecto de la ganadería en el Parque Nacional Llanganates, Ecuador.

Revista Verde de Agroecología e Desenvolvimento Sustentável, 17(1), 27–34.

Roque Quiroz, R. A. (2022). Tendencia del NDVI en el Área de Conservación Regional Angostura Faical de Tumbes, Perú, 1999-2019. *Manglar*, 19(3), 233–237.

<https://doi.org/10.17268/manglar.2022.029>

Silvia, L., Alexander, T., Anna, K., & Polina, K. (2019). Assessment of carbon dynamics in Ecuadorian forests through the Mathematical Spatial Model of Global Carbon Cycle and the Normalized Differential Vegetation Index (NDVI). *E3S Web of Conferences*, 96, 02002. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199602002>

Song, C., Woodcock, C. E., Seto, K. C., Lenney, M. P., & Macomber, S. A. (2001). Classification and Change Detection Using Landsat TM Data: When and How to Correct Atmospheric Effects? *Remote Sensing of Environment*, 75(2), 230–244.

[https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(00\)00169-3](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(00)00169-3)

Xue, S.-Y., Xu, H.-Y., Mu, C.-C., Wu, T.-H., Li, W.-P., Zhang, W.-X., Streletskaia, I., Grebenets, V., Sokratov, S., Kizyakov, A., & Wu, X.-D. (2021). Changes in different land cover areas and NDVI values in northern latitudes from 1982 to 2015. *Advances in Climate Change Research*, 12(4), 456–465.

<https://doi.org/10.1016/j.accre.2021.04.003>

Young, N. E., Anderson, R. S., Chignell, S. M., Vorster, A. G., Lawrence, R., & Evangelista, P. H. (2017). A survival guide to Landsat preprocessing. *Ecology*, 98(4),

920–932. <https://doi.org/10.1002/ecy.1730>

