

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL



**CAMBIO EN LA VEGETACIÓN DEL HÁBITAT CRÍTICO
MORRO DE CALZADA (SAN MARTÍN) MEDIANTE EL
USO DE ÍNDICES DE VEGETACIÓN (2016-2023)**

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO FORESTAL

PRESENTADO POR EL BACHILLER:

OSMAR JHANPIER ALARCÓN GUEVARA

ASESOR

**Ing. M. Sc. FRANCISCO FERNANDO AGUIRRE DE LOS
RÍOS**

JAÉN – PERÚ

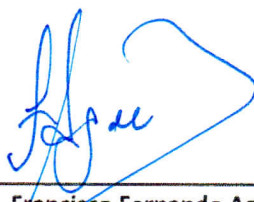
2025

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

1. Investigador:
Osmar Jhanpier Alarcón Guevara
DNI: 72932415
Escuela Profesional/Unidad UNC:
Ingeniería Forestal
2. Asesor:
Ing. M. Sc. Francisco Fernando Aguirre De Los Ríos
Facultad/Unidad UNC:
Ingeniería Forestal
3. Grado académico o título profesional
☐ Bachiller ☒ Título profesional ☐ Segunda especialidad
☐ Maestro ☐ Doctor
4. Tipo de Investigación:
☒ Tesis ☐ Trabajo de investigación ☐ Trabajo de suficiencia profesional
☐ Trabajo académico
5. Título de Trabajo de Investigación:
CAMBIO EN LA VEGETACIÓN DEL HÁBITAT CRÍTICO MORRO DE CALZADA (SAN MARTÍN)
MEDIANTE EL USO DE ÍNDICES DE VEGETACIÓN (2016-2023)
6. Fecha de evaluación: 19/09/2025
7. Software antiplagio: ☒ TURNITIN ☐ URKUND (OURIGINAL) (*)
8. Porcentaje de Informe de Similitud: 12 %
9. Código Documento: oid: 3117:499901420
10. Resultado de la Evaluación de Similitud:
☒ APROBADO ☐ PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 19/09/2025

Firma y/o Sello
Emisor Constancia



Ing. M. Sc. Francisco Fernando Aguirre De Los Ríos
DNI: 40744723

* En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

Fundada por Ley N° 14015 del 13 de febrero de 1,962

"Norte de la Universidad Peruana"

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL

FILIAL JAÉN

Calle Simón Bolívar N° 1368 - 1370 Plaza de Armas

Calle Mariscal Ureta N°1355 - 1357

JAÉN - PERÚ



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En la ciudad de Jaén, a los **veintiséis** días del mes de **agosto** del año dos mil veinticinco, se reunieron en el **Ambiente de la Sala de Docentes de Ingeniería Forestal- Filial Jaén**, los miembros del Jurado designados por el Consejo de Facultad de Ciencias Agrarias, según Resolución de Consejo de Facultad N° 231-2025-FCA-UNC, de fecha 12 de mayo 2025, con el objeto, de evaluar la sustentación del trabajo de Tesis titulado: "**CAMBIO EN LA VEGETACIÓN DEL HÁBITAT CRÍTICO MORRO DE CALZADA (SAN MARTÍN) MEDIANTE EL USO DE ÍNDICES DE VEGETACIÓN (2016 - 2023)**", ejecutado por el Bachiller en Ciencias Forestales, **Don OSMAR JHANPIER ALARCÓN GUEVARA**, para optar el Título Profesional de **INGENIERO FORESTAL**.

A las **quince** horas y **cero** minutos, de acuerdo a lo estipulado en el Reglamento respectivo, el Presidente del Jurado dio por iniciado el evento, invitando al sustentante a exponer su trabajo de Tesis y luego de concluida la exposición, el jurado procedió a la formulación de preguntas. Concluido el acto de sustentación, el Jurado procedió a deliberar, para asignarle la calificación. Acto seguido, el Presidente del Jurado anunció la **APROBACIÓN** por **UNANIMIDAD** con el calificativo de **quince (15)**; por tanto, el Bachiller queda expedito para el inicio de los trámites, para que se le otorgue el Título Profesional de Ingeniero Forestal.

A las **dieciséis** horas y **diez** minutos del mismo día, el Presidente del Jurado dio por concluido el acto.

Jaén, 26 de agosto de 2025.

Dr. Segundo Primitivo Vaca Marquina
PRESIDENTE

Ing. M. Sc. Vitoly Becerra Montalvo
SECRETARIO

Ing. M. Cs. Leiver Flores Flores
VOCAL

Ing. M. Sc. Francisco Fernando Aguirre De Los Ríos
ASESOR

DEDICATORIA

El presente trabajo de tesis está dedicado especialmente a mi madre, por su apoyo incondicional, motivación, confianza y estar perpetuamente para mí guiando mis pasos, por ser mi mayor fortaleza en este importante proceso y etapa de mi vida.

A mi tío Eduardo, quien siempre me impulsa a crecer y ser mejor cada día en todo aspecto y por sus consejos sabios.

A mi abuelito Eduardo por ser el gran ejemplo de padre en mi vida.

A toda mi familia por brindarme siempre su apoyo por darme esos consejos que siempre me han motivado seguir adelante.

AGRADECIMIENTO

Doy gracias a Dios por cada día brindarme la oportunidad de mejorar en cada aspecto de mi vida.

Al M.Sc. Fernando Aguirre de los Rios, asesor del presente trabajo, por su orientación durante el desarrollo de mi tesis.

A la empresa Instituto de Investigación y Desarrollo Tropical del Perú S.A.C. – IINDESAT-SAC, por asesoramiento brindado durante el desarrollo de mi tesis.

A mi compañero de trabajo Edgar Poémape Pinedo, por brindarme su apoyo para realizar el presente trabajo de investigación.

A todos mis amigos quienes siempre me han dado ánimos de continuar adelante y de no desistir nunca

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO	3
RESUMEN	6
ABSTRACT.....	7
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	8
CAPÍTULO II: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	10
2.1. Antecedentes de la investigación	10
2.2. Bases teóricas.....	13
2.2.1. <i>Hábitat crítico</i>	13
2.2.2. <i>Cambio de la cobertura del suelo</i>	14
2.2.3. <i>Sistemas de información geográfica</i>	15
2.2.4. <i>Sensores remotos</i>	15
2.2.5. <i>Resolución de los sensores</i>	16
2.2.6. <i>Imágenes satelitales de Sentinel-2</i>	17
2.2.7. <i>Índices de vegetación</i>	17
2.2.8. <i>Análisis de vector de cambio</i>	18
2.3. Definición de términos básicos	18
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO	20
3.1. Localización de la investigación	20
3.2. Tipo y diseño de la investigación	22
3.2.1. <i>Matriz operacional de variables</i>	22
3.3. Población, muestra y unidad de análisis	23
3.3.1. <i>Fuente, técnicas e instrumentos de recolección de datos</i>	24
3.3.2. <i>Validación de los instrumentos</i>	24

3.3.3. Técnicas de procesamiento y análisis de datos	24
3.3.4. Aspectos éticos a considerar	27
3.3.5. Presentación de la información.....	27
3.3.6. Matriz de consistencia	28
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
4.1. Resultados	29
4.1.1. Cálculo del NDVI del hábitat crítico Morro de Calzada (2016 - 2023)	29
4.1.2. Cálculo del BSI del hábitat crítico Morro de Calzada (2016 - 2023).....	32
4.1.3. Cálculo del vector del cambio en la vegetación del hábitat crítico Morro de Calzada (2016 - 2023).....	35
4.2. Discusión.....	39
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	42
5.1. Conclusiones.....	42
5.2. Recomendaciones.....	42
CAPÍTULO VI: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44
CAPÍTULO VII: ANEXOS.....	51

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el cambio en la vegetación del hábitat crítico Morro de Calzada - San Martín mediante el uso de índices de vegetación entre los años 2016-2023, para ello se hizo uso de las bandas espectrales del satélite Sentinel-2 y el análisis de cambio de vector. Los resultados muestran una disminución en la mediana del NDVI de 0,76 a 0,72, indicando una ligera reducción en la densidad vegetal. En cuanto al BSI, la mediana mostró un incremento de 0,61 a 0,64, lo que sugiere un aumento en la exposición de suelo desnudo en ciertas áreas del hábitat crítico. Del análisis de cambio de vector, respecto a la magnitud, el 23,67 % (287,45 ha.) del área de estudio ha experimentado cambios significativos. De este total, un 44,74 % de la zona ha sido afectada por la expansión de suelo desnudo. Los resultados sugieren la necesidad de implementar medidas de conservación y restauración en las zonas más degradadas, donde el cambio en la vegetación y el suelo expuesto es más pronunciado.

Palabras clave: NDVI, BSI, cambio de vegetación, hábitat crítico, Morro de Calzada, conservación

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate vegetation change in the critical habitat of Morro de Calzada- San Martín using vegetation indices between 2016–2023, using the spectral bands of the Sentinel-2 satellite and vector shift analysis. Results show a decrease in the median NDVI from 0.76 to 0.72, indicating a slight reduction in plant density. Regarding the BSI, the median increased from 0.61 to 0.64, suggesting an increase in bare soil exposure in certain areas of the critical habitat. From the vector shift analysis, in terms of magnitude, 23.67% (287.45 ha) of the study area has experienced significant changes. Of this total, 44.74% of the area has been affected by the expansion of bare soil. The results suggest the need to implement conservation and restoration measures in the most degraded areas, where the change in vegetation and exposed soil is most pronounced.

Palabras clave: NDVI, BSI, vegetation change, critical habitat, Morro de Calzada, conservation

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Los cambios en el uso y la cobertura del suelo (LULC) inducidos por el hombre durante los últimos años han estado alterando la composición, la estructura y los servicios de los ecosistemas terrestres a un ritmo sin precedentes (Souza et al., 2020; Lautenbach et al., 2011; Walther, 2010; Ellis et al., 2010). Estos cambios han generado la reducción de los hábitats generando consigo una disminución en la riqueza y abundancia de organismos a nivel local (Isbell et al, 2023).

América Latina es una de las regiones del mundo con las tasas más altas de cambio de LULC en los últimos tiempos (Baeza y Paruel, 2020). Solo en el Perú se observa un cambio preocupante en las coberturas naturales del país desde 1985 hasta 2022; durante este período, el territorio peruano ha experimentado una disminución del 3,95 % en áreas con formaciones boscosas (MapBiomass, 2024). Estos cambios tienen un impacto directo en la vida humana y, por lo tanto, se necesitan mecanismos de monitoreo efectivos para la gestión y utilización sostenible de los recursos naturales (Phiri, 2020).

En el Perú, se han establecido diferentes mecanismos para el uso sostenible de los recursos naturales, como las concesiones forestales, cesiones en uso y concesiones para ecoturismo, así como para su conservación, como las áreas naturales protegidas, concesiones para conservación, ecosistemas frágiles y hábitats críticos (SERFOR, 2019). Uno de los hábitats críticos que posee el Perú, es el “Morro de Calzada”, ubicado en el departamento de San Martín, la cual alberga a la especie *Plecturocebus oenanthe*, categorizada en estado Crítico (CR), según la normativa nacional (RDE N° 139-2019-MINAGRI-SERFOR-DE)

Asimismo, otros de los mecanismos para el uso sostenible de los recursos naturales, es el establecimiento de una Unidad Funcional de Monitoreo Satelital que utiliza la teledetección y sistemas de información geográfica (SIG) para supervisar el patrimonio forestal, la pérdida de cobertura de bosques, cambio de uso de suelo, entre otros aspectos (RGG N° D000006-2021-MIDAGRI-SERFOR-GG).

Las técnicas de teledetección y SIG son ampliamente empleadas para monitorear y evaluar los ecosistemas forestales, abordando tanto aspectos cuantitativos como cualitativos, lo que tiene implicaciones significativas para la conservación de los ecosistemas (Blaga et al., 2023).

El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y el Índice de Suelo Desnudo (BSI), son algunos de los índices más utilizados e implementados para monitorear la dinámica de la vegetación mediante información satelital (Touhami et al., 2022; Vaudour et al., 2021).

Teniendo en cuenta la importancia del monitoreo de ecosistemas como los hábitats críticos, mediante índices de vegetación e índices de suelo desnudo se plantea la presente investigación, con la finalidad de responder al problema: ¿Cómo es el cambio en la vegetación del hábitat crítico Morro de Calzada (San Martín) mediante el uso de índices de vegetación (2016-2023)?; para lo cual se planteó como objetivo general: Evaluar el cambio en la vegetación del hábitat crítico Morro de Calzada (San Martín) mediante el uso de índices de vegetación (2016-2023), acompañado de los siguientes objetivos específicos: a) Calcular el NDVI del hábitat crítico Morro de Calzada (2016 - 2023), b) Calcular el BSI del hábitat crítico Morro de Calzada (2016 - 2023), y c) Calcular el vector del cambio en la vegetación del hábitat crítico Morro de Calzada (2016 - 2023).

CAPÍTULO II

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Antecedentes de la investigación

Polykertis et al. (2020) realizaron una investigación sobre el impacto de varios índices espectrales en la detección de cambios en la cobertura del suelo usando análisis de vectores de cambio en la isla de Creta, Grecia, entre las últimas dos décadas (1999–2009 y 2009–2019). Usaron varios índices espectrales (NDVI, SAVI, BSI, TCG y TCB), de las cuales, en la combinación NDVI-BSI determinaron que el 68,78 % del área de estudio (aproximadamente 5680 km²) presentó cambios en el período comprendido entre 1999 – 2009. Del total del área cambiada, el 66,67 % estuvo relacionado con cambios de nivel bajo, y sólo el 2,11 % con cambios de nivel alto. Así mismo, determinaron que para el periodo de 2009 – 2019, el 62,93 % del área de estudio presentó un cambio significativo en la vegetación; el 59,72 % con cambios de niveles bajos y el 2,62 % con cambios de niveles altos.

Lv et al. (2021), realizaron una investigación sobre un análisis diagnóstico de métodos de análisis de vectores de cambio para LCCD utilizando imágenes de teledetección en los países de China y Brasil Para ello realizaron una revisión extensa de los enfoques basados en CVA en el contexto de la detección de cambios en la cobertura terrestre (LCCD). El análisis lo llevaron a cabo en siete conjuntos de datos reales adquiridos por diferentes sensores y plataformas (por ejemplo, Landsat, Quick Bird y aéreo) y resoluciones espaciales (de 0,5 a 30 m/píxel), con escenas de paisajes tanto urbanos como naturales. Concluyeron que no existe un método basado en CVA que pueda etiquetarse como "bueno" o "malo". Asimismo, determinaron que el desempeño de un método será diferente cuando se lo aplica en diferentes conjuntos de datos. Por lo tanto, la selección de un método basado en CVA adecuado en relación con el conjunto de datos y la configuración de los parámetros para un conjunto de datos específico deben adquirirse mediante experimentos de prueba y error.

Nugroho et al. (2021) realizaron una investigación sobre la detección rápida de cambios en la cobertura del suelo en un entorno de sabana tropical usando análisis condicional de vectores de cambio en datos de teledetección en la cuenca del Moyo, región de Sumbawa, provincia de Nusa Tenggara Occidental, Indonesia. Para el análisis de cambio de vector (CVA) hicieron uso del índice de vegetación mejorado (EVI) y el índice de diferencia de suelo normalizado (NDSI) durante el periodo 2015 a 2019 se detectaron cambios en la cuenca del Moyo. Determinaron que en el periodo 2015 a 2016, la cuenca del río Moyo estuvo dominada

por cambios con una magnitud de cambio inferior a 0,088, que representó el 63 % del área de la cuenca del río Moyo. En el periodo de 2016 a 2017, los cambios estuvieron dominados por un valor de magnitud de cambio de 0,063, que representó el 58,6 % del área de la cuenca del río Moyo. En el periodo de 2017 a 2018, los cambios estuvieron dominados por el valor de magnitud del cambio de 0,084 del 55,26 % del área de la cuenca de Moyo. En el periodo de 2018 a 2019, el cambio estuvo dominado por un valor de magnitud de cambio de 0,057, que representó el 47,57 % del área de la cuenca de Moyo.

Sade et al. (2022) realizaron una investigación sobre detección de la gravedad de los incendios y de las clases de regeneración de la vegetación mediante un enfoque de análisis de vectores de cambio: un estudio de caso en la parte sur de Sumatra, Indonesia. Tuvieron como objetivo principal determinar el tipo y el nivel de severidad del cambio debido al fuego o la regeneración de la vegetación mediante magnitud y dirección del CVA. La severidad y la regeneración de la vegetación lo clasificaron en cinco clases: clases de quema sin quemar, de severidad muy baja, baja y moderada y una clase de regeneración moderada de tierra desnuda a plantación de palma aceitera, y sin quemar. Determinaron que el desempeño de este enfoque CVA fue superior al método de relación de quema normalizada delta (dNBR), como lo indica su capacidad para detectar cinco clases de severidad posteriores al incendio con una precisión general del 87,7 %, en comparación con dNBR, que detectó cuatro clases de severidad posteriores al incendio con una precisión general del 66,9 %.

AL-Khakani, E. & Hamid, H. (2023) realizaron una investigación sobre monitoreo de la dinámica de la cobertura terrestre utilizando un enfoque de análisis de vectores de cambio: un estudio de caso de la provincia de Al Najaf, del país de Irak. Utilizaron el método de CVA con el índice de vegetación mejorado 2 (EVI2) y el índice de suelo desnudo seco (DBSI) a través de imágenes satelitales de Landsat-5 TM y Landsat 8 OLI 2020. Los resultados de la magnitud del vector de cambio encontraron que la proporción del área cambiada alcanzó el 46,58 % y el 56,35 %, y el área sin cambios fue del 53,42 % y el 43,65 % para los periodos (2000-2010) y (2010-2020), respectivamente. Los resultados de la dirección del cambio revelaron que la proporción de reducción de humedad fue del 26,93 % y el 4,85 %, mientras que la proporción de rebrote de vegetación fue del 15,81 % y el 38,79 % para los mismos dos periodos, respectivamente. Los resultados de los dos periodos considerados mostraron que la combinación EVI2-DBSI presentó resultados de rendimiento prometedores con una precisión general de 0,90 y 0,92 y un índice kappa de 0,867 y 0,852, respectivamente. Asimismo,

concluyeron que la técnica CVA ofrece una forma prometedora de rastrear los cambios ambientales que están conectados con la dinámica del uso/cobertura de la tierra.

Narmashiri et al. (2022) realizaron una investigación sobre la evaluación y análisis del cambio en la desertificación usando el método de análisis de vectores de cambio en el Condado de Ghalehgang del país Irán, para ello utilizaron el método de análisis de cambio de vectores para evaluar y analizar el cambio de la desertificación en una parte del condado de Ghalehganj en el sur de la provincia de Kerman en dos períodos de tiempo de 2014 (primer período) y 2020 (segundo período) para marzo y abril. Aplicaron el cálculo de los índices EVI y BSI. Sus resultados indicaron el predominio del proceso de recuperación en la región durante los años estudiados y los resultados generales indican que el desarrollo de tierras cultivadas y el cambio de uso de la tierra tienen el mayor impacto en los indicadores de seguimiento y las tendencias de desertificación en la región. Así, se presencia la degradación de las tierras alrededor de las zonas residenciales y, por otro lado, existe una relación significativa entre las actividades agrícolas y las áreas de rehabilitación en la región.

Yang (2022) realizó una investigación sobre el monitoreo del cambio en el uso y cobertura del suelo en la región Andes-Amazonía del Perú basado en la fusión espaciotemporal de datos de múltiples satélites. Para ello, realizó un análisis LULCC en la Amazonía andina peruana generando series temporales anuales de NDVI con alta resolución temporal (8 días) y espacial (30 m). Encontró que el cambio más importante en la cobertura del suelo en los Andes y Amazonía peruana fue la pérdida de bosques, que estaba altamente relacionada con la tala ilegal, el crecimiento demográfico y la minería ilegal.

Vega (2022) realizó una investigación sobre el análisis del índice normalizado de vegetación (NDVI) del bosque de protección Pagaibamba, Cajamarca, Perú, en el periodo de 2016 – 2022. Para su investigación analizó los cambios en el NDVI de este bosque, en la cual sus resultados mostraron que, durante el período seco, el NDVI más bajo registrado fue de 0,24 en el 2017, mientras que el valor más alto se alcanzó en 2020 con un índice de 0,46. En el período lluvioso, el índice más bajo fue de 0,19 en 2016 y los valores más altos se observaron en 2019 y 2020, ambos con un NDVI de 0,46. En cuanto a la Zona de Amortiguamiento, durante el período seco, el NDVI más bajo fue de 0,25 y el más alto de 0,39. Durante el período lluvioso, el índice más bajo fue de 0,27 en 2016 y el más alto se registró en 2021 con un valor de 0,40. Asimismo, concluyó que el Bosque de Protección Pagaibamba presentó los valores más bajos de NDVI en los años 2016 y 2017 debido a un incendio forestal que ocurrió en esos

años. Sin embargo, a partir de 2019, el bosque mostró signos de recuperación. En contraste, la Zona de Amortiguamiento no fue tan severamente afectada por el incendio, manteniendo su NDVI relativamente estable, salvo en el período lluvioso del año 2016.

Saavedra (2019) realizó una investigación sobre la variabilidad espacio-temporal de vegetación de los distritos colindantes a la zona de amortiguamiento del Área de Conservación Regional Cordillera Escalera (ACR-CE) provincia San Martín, Perú, durante el periodo 2009-2018. Para ello, analizó el cambio de la vegetación mediante el cambio de NDVI. En sus resultados obtuvo que de los 16 distritos colindantes solo Moyobamba es el que ganó vegetación iniciando en el 2009 con 545,85 ha y terminando en el 2018 con 570,87. Asimismo, de la pérdida de cobertura vegetal entre 2009 y 2018, se observó que Tarapoto fue el distrito con mayor pérdida, con una pérdida de 83,56 % de su vegetación original (2009). Otros distritos con pérdidas significativas incluyeron Morales con un 83,13 %, Barranquita con un 81,07 % y San Antonio de Cumbaza con un 80,35 %. En contraste, Tabalosos experimentó la menor pérdida, con un 49,15 % de la vegetación.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. *Hábitat crítico*

Miret-Minard et al. (2024), afirman que la designación de hábitats críticos es una herramienta de conservación ampliamente utilizada en todo el mundo, lo cual se ha venido dando por múltiples factores humanos, acelerando el declive de los ecosistemas diversos. Si no se toman medidas extremas para reducir dichos factores, se producirá una mayor aceleración en la tasa de extensión de especies (Díaz et al., 2019, Jaureguiberry et al., 2022).

Si bien el término “hábitat crítico” se trata de un mecanismo de protección importante, las tierras designadas como hábitat crítico aún podrían estar sujetas a degradación y fragmentación si no se encuentran también en un estado de protección que priorice la conservación de la biodiversidad (Delach et al., 2024).

En España, las Directivas de la UE se transpusieron a la Ley del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad (LPNB) (BOE-A-2007 – 21490 Ley 42/2007), que incluye el establecimiento y regulación del Catálogo Español de Especies Amenazadas (CEEAA), un listado con información de todas las especies clasificadas como amenazadas o vulnerables.

La Unión Europea ha generado políticas para la protección y restauración de la naturaleza con el objetivo de detener la pérdida de biodiversidad y evitar la degradación de

ecosistemas como Directivas 92/43/CEE Y 2009/147/CE DE Hábitat y Aves, Pacto Verde de la UE o la Estrategia de Biodiversidad de la UE para 2030; e incluso más reciente la Ley de Restauración de la Naturaleza, la cual establece metas para restaurar al menos el 20 % de las áreas terrestres y marinas de la UE para 2030, con objetivos adicionales para 2040 y 2050.

El concepto de hábitat crítico también se encuentra en otras legislaciones internacionales, como la Ley de Especies en Peligro de Extinción de Estados Unidos (ESA), la Ley de Especies en Riesgo de Canadá (SARA), la Ley de Protección del Medio Ambiente y Conservación de la Biodiversidad de Australia (EPBC Act) o la Ley General de Vida Silvestre de México (LGVS).

El SERFOR (2019) define al hábitat crítico como, “áreas específicas dentro del rango normal de distribución de una especie o población de una especie con condiciones particulares que son esenciales para su sobrevivencia, y que requieren manejo y protección especial; esto incluye tanto aspectos ecológicos como biofísicos”.

En el hábitat crítico Morro de Calzada tiene una población de más de mil individuos de Mono Tocón (*Plecturocebus oenanthe*) (PMT, 2023).

2.2.2. Cambio de la cobertura del suelo

La pérdida y cambio de la cobertura vegetal ocasiona modificaciones en los ciclos del agua, cambios en los patrones de temperatura y precipitación, lo que contribuye al calentamiento global, la reducción en la absorción de dióxido de carbono y la pérdida de biodiversidad y hábitats. A nivel local, estos fenómenos provocan la degradación del suelo, alteran el microclima y afectan los ciclos hídricos a escala de cuenca (Masis & Vargas, 2014).

El cambio de cobertura del suelo puede presentar dos tipos de impulsores (Espinoza, 2016; Geist & Lambin, 2002):

- **Directos:** Son los que permanecen constantes o crecen en intensidad en la mayoría de los ecosistemas (extensión de la infraestructura, expansión agrícola, extracción de madera, otros factores).
- **Indirectos:** Son los que influyen en el nivel de la producción y aprovechamiento de los servicios brindados por los ecosistemas (factores demográficos, factores económicos, factores técnicos, factores políticos e institucionales, factores culturales).

2.2.3. *Sistemas de información geográfica*

Un Sistema de Información Geográfica (SIG) es una herramienta especializada que combina información digital y software para el análisis de datos con objetivos específicos dentro de una organización, donde la información se presenta georreferenciada, es decir, con coordenadas espaciales que reflejan su ubicación exacta en un sistema de referencia estandarizado, comúnmente utilizando la proyección cartográfica UTM (Alonso-Sarría, 2006).

Para Santos (2020), los componentes básicos para un SIG son los componentes tecnológicos (hardware, software), los datos, el personal técnico y los métodos de trabajo.

a. Componentes tecnológicos:

- **Hardware:** Es el elemento físico, la plataforma sobre la que circulan los programas.
- **Software:** Este constituye el soporte lógico de cualquier ordenador, en donde se integran diversos programas para el tratamiento de la información.

b. Los datos:

- Todos los sistemas de información se alimentan de datos y sobre ellos se realizan diferentes funciones de análisis y gestión.

c. El personal técnico:

- El personal técnico, como factor humano, constituye un elemento clave en el proceso y gestión de la información geográfica; por lo tanto, el personal que desarrolla un SIG debe ser multidisciplinario en consonancia con las exigencias de los diferentes problemas a resolver.

d. Los métodos de trabajo:

- Los métodos de trabajo deben aplicarse en cada una de las fases de articulación de un SIG; de esta manera, existirán procedimientos específicos para el diseño de base de datos, para manipulación de la información, el planteamiento de modelos o algoritmos, entre otros.

2.2.4. *Sensores remotos*

Los sensores remotos son herramientas que permiten obtener información de manera rápida y efectiva sobre un objeto, área o fenómeno a distancia; estos datos se pueden procesar y analizar utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG) para una mejor interpretación, siendo especialmente comunes los sensores instalados en plataformas, los cuales capturan la

energía electromagnética reflejada o emitida por la superficie en diferentes bandas del espectro electromagnético, abarcando desde las longitudes de onda más cortas como las gamma y ultravioleta, hasta las más largas como las microondas y las de radiodifusión, y es precisamente la capacidad de detectar las ondas ultravioleta lo que hace a estos sensores particularmente útiles (Veneros et al., 2020).

2.2.5. Resolución de los sensores

En los sistemas de sensores de teledetección, se manejan cinco tipos de resoluciones distintas, a diferencia de otros sistemas cartográficos que suelen relacionar únicamente la resolución con la precisión geométrica, estas resoluciones (espacial, radiométrica, espectral, temporal y angular) permiten evaluar rangos de precisión en diversos conceptos cruciales para el análisis de las imágenes espaciales (Pérez & Muños, 2006). Estas resoluciones se definen en los siguientes:

- **Resolución espacial:**

La resolución espacial en sistemas óptico-electrónicos de satélites se refiere a su capacidad para distinguir el objeto más pequeño en una imagen, influenciada por la altura orbital, la velocidad de exploración, el número y tamaño de los detectores, entre otras características. Los sensores en operación varían significativamente en su resolución, desde menos de un metro hasta alrededor de 11,000 metros, dependiendo de su objetivo específico (Tristán et al., 2008).

- **Resolución espectral:**

La resolución espectral del sensor depende del número y ancho de las bandas captadas, determinando su capacidad para distinguir la radiancia en diversas longitudes de onda del espectro electromagnético; sensores con más bandas son preferibles para estudios multiespectrales, idealmente con bandas estrechas para evitar mezclar valores medios de regiones espectrales con significados físicos distintos (Tristán et al., 2008).

- **Resolución radiométrica:**

La resolución radiométrica se refiere a la capacidad del sensor para discriminar niveles o intensidades de radiancia espectral; en sistemas analógicos como la fotografía, esto depende del número de niveles de gris obtenibles, mientras que en sistemas óptico-electrónicos, la radiancia incidente se registra matricialmente por un arreglo de celdas, cada una reportando un nivel digital (ND) proporcional a la energía electromagnética recibida; esta capacidad varía,

con algunos sensores diferenciando 128 niveles y otros alcanzando hasta 1024 niveles diferente (Tristán et al., 2008).

- **Resolución temporal:**

Se refiere a la capacidad del sistema para distinguir los cambios temporales en la superficie terrestre, determinada por la frecuencia con que el sensor puede capturar nuevas imágenes del mismo punto, influenciada por la altura orbital y el ángulo de observación del satélite (Tristán et al., 2008).

- **Resolución angular:**

Se refiere a la capacidad del sensor para captar imágenes oblicuas, lo que permite acelerar los tiempos de cobertura y facilita la generación de imágenes estereoscópicas para la reconstrucción del relieve (Pérez & Muñoz, 2006).

2.2.6. Imágenes satelitales de Sentinel-2

Las misiones Sentinel, desarrolladas por la Agencia Espacial Europea (ESA) bajo el Programa Copérnico, son una serie de satélites diseñados para ofrecer una observación detallada y continua de la Tierra, cubriendo aspectos terrestres, oceánicos y atmosféricos; cada misión tiene enfoques y objetivos específicos, proporcionando así una comprensión profunda y actualizada del planeta (Gamez, 2024).

La misión Sentinel-2, compuesta por dos satélites en órbita polar sincronizada con el sol, está diseñada para monitorear la variabilidad de las condiciones de la superficie terrestre; con una amplitud de barrido de 290 km y un tiempo de revisita eficiente de 10 días en el ecuador con un satélite y de 5 días con dos, en condiciones sin nubes, Sentinel-2 es especialmente adecuada para el seguimiento de cambios en la superficie de la Tierra (Gamez, 2024 y European Space Agency, 2017).

2.2.7. Índices de vegetación

Los índices de vegetación sirven para diferenciar áreas con alta actividad fotosintética de otras coberturas en etapas iniciales de desarrollo, basándose en el comportamiento radiométrico único de la vegetación; la vegetación sana presenta un contraste notable entre las bandas visibles, especialmente la banda roja (0.6-0.7 μm) y la del infrarrojo cercano (0.7-1.1 μm); en el espectro visible, los pigmentos de las hojas absorben la mayor parte de la energía, reflejando mínimamente en el infrarrojo cercano, lo que genera un contraste espectral entre las bandas roja e infrarrojo cercano; esta característica permite distinguir claramente la vegetación

de otras coberturas, formando la base para definir los índices de vegetación en función de la radiación de las bandas visible (Vis) e infrarrojo cercano (IRc) (Cruz, 2023).

2.2.8. *Análisis de vector de cambio*

El Análisis del Vector de Cambio (CVA) evalúa pares de mediciones espectrales tomadas en diferentes fechas para calcular vectores de cambio espectral; la presencia de un cambio significativo se determina comparando la magnitud del vector con un umbral predefinido, y si se supera ese umbral, se considera que ha habido un cambio; además, la dirección del vector aporta información adicional sobre el tipo de cambio, como la diferencia entre una cosecha y el rebrote (Malila, 1980).

2.3. Definición de términos básicos

Vegetación: Es el conjunto que resulta de la disposición en el espacio de los diferentes tipos biológicos de plantas presentes en una porción cualquiera del territorio geográfico (Ferro-Díaz, 2015, p. 2).

Hábitats críticos: “Áreas específicas dentro del rango normal de distribución de una especie o población de una especie con condiciones particulares que son esenciales para su sobrevivencia, y que requieren manejo y protección especial; esto incluye tanto aspectos ecológicos como biofísicos tales como cobertura vegetal y otras condiciones naturales, disponibilidad de recursos alimenticios o para anidación, entre otros” (SERFOR, 2019, p. 101).

Teledetección: Es la aplicación de diversas técnicas, equipos y procedimientos especializados que permiten capturar y analizar imágenes de la superficie terrestre mediante el uso de sensores ubicados en posiciones remotas (Muñoz, 2022, p. 18).

Imagen satelital: Es una matriz digital de puntos (igual a una fotografía digital) capturada por un sensor a bordo de un satélite que órbita alrededor de la tierra (Cruz, 2023, p. 7).

Imagen multiespectral: Es un tipo de imagen satelital que utiliza detectores fotoeléctricos que convierten los niveles de radiancia provenientes de la superficie terrestre en valores numéricos llamados niveles digitales; estos valores son proporcionales a la intensidad de la radiancia del terreno y se obtienen mediante dispositivos de conversión analógica a digital; este proceso se realiza para cada banda espectral, generando una matriz tridimensional donde cada nivel digital de un píxel se ubica en una fila, una columna y una banda (Pérez & Muños, 2006; Quispe, 2020, p. 45).

Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI): es un índice de gran aplicación para determinar la vegetación, ya que es eficiente para el análisis y monitoreo de las condiciones vegetativas y su dinámica en la cobertura terrestre (Olivares y López-Beltran, 2019, p. 113).

Índice de suelo desnudo (BSI): Es un índice utilizado principalmente para destacar la diferencia entre tierras agrícolas y no agrícolas debido a su mayor capacidad para identificar suelos desnudos y tierras en barbecho (Polykretis. 2020, p. 6).

CAPÍTULO III

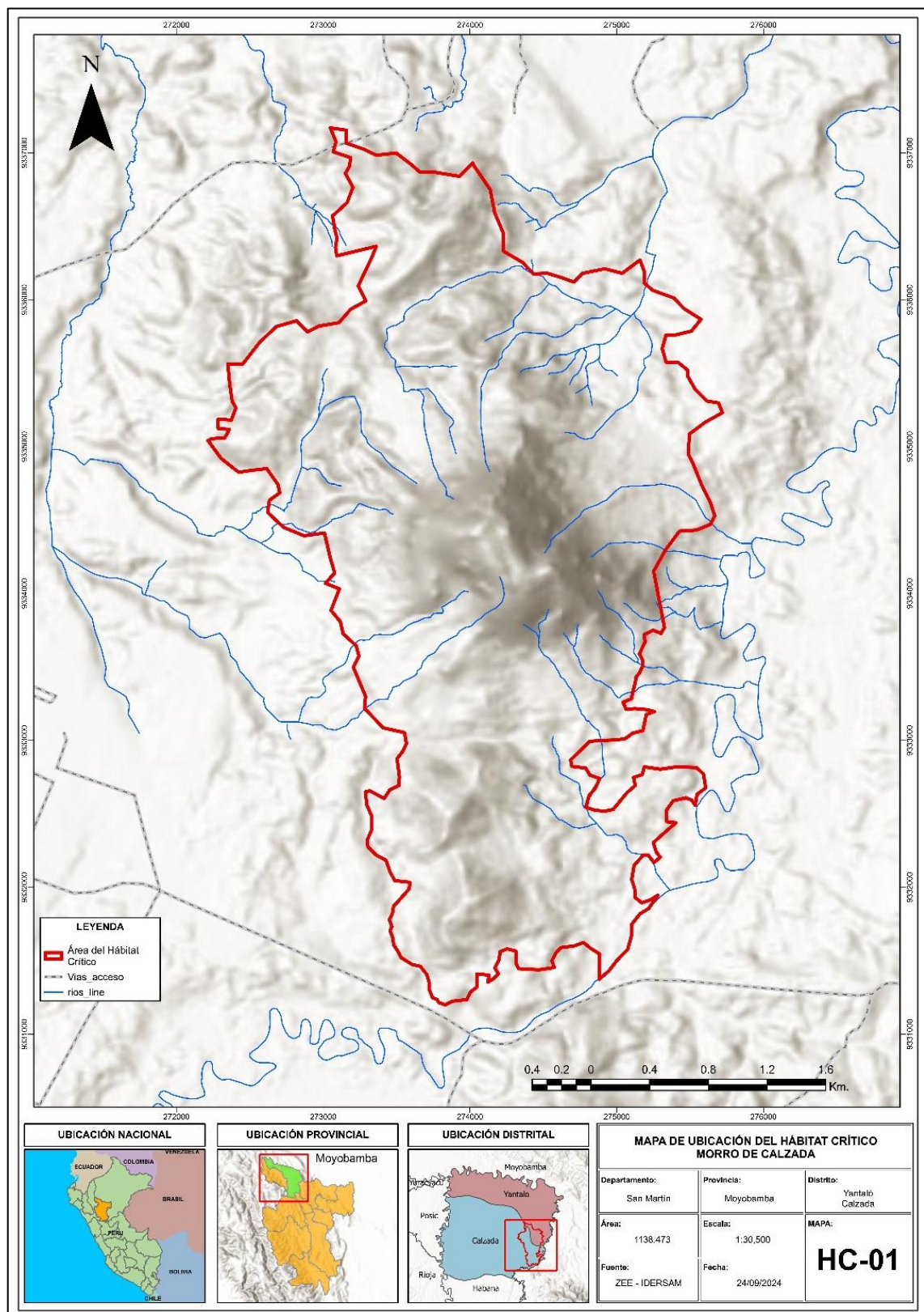
MARCO METODOLÓGICO

3.1. Localización de la investigación

La investigación se desarrolló en el Hábitat Crítico Morro de Calzada, ubicado entre los distritos de Yantaló y Calzada, provincia de Moyobamba, departamento de San Martín. El área del estudio se encuentra entre los 855 y 1430 m s. n. m.

Figura 1

Ubicación de hábitat crítico Morro de Calzada



Clima del hábitat crítico Morro de Calzada

El Hábitat Crítico Morro de Calzada, posee un clima semihúmedo, sin falta de agua durante todo el año; semicálido con baja concentración térmica en verano (DR N° 002-2009-GRSM/PGR)

Fisiográfica del hábitat crítico Morro de Calzada

El Hábitat Crítico Morro de Calzada posee tierras cálidas a templadas con relieve montañoso y colinado, montañas bajas con laderas extremadamente empinadas y colinas bajas ligera a moderadamente disectadas (OR N° 002-2009-GRSM/PGR)

Diversidad del hábitat crítico Morro de Calzada

Se encuentra poblado por milenarios almendros, orquídeas y bromelias, así como diversas especies de fauna. Dentro de las especies de fauna, el hábitat crítico alberga al Mono Tocón de San Martín (*Plecturocebus oenanthe*) (RDE N° 139-2019-MINAGRI-SERFOR-DE), especie endémica de la región San Martín, y categorizada en peligro crítico (CR) según el DS N° 004-2014-MINAGRI.

3.2. Tipo y diseño de la investigación

Tipo de investigación: El estudio desarrollado corresponde a una investigación tipo descriptiva con un nivel de investigación correlacional.

Diseño de la investigación: La investigación presenta un diseño no experimental.

3.2.1. Matriz operacional de variables

Variable 1: Índice de vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)

Variable 2: Índice de Suelo Desnudo (BSI)

Tabla 1

Matriz de operacionalización de variables

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Técnica/ Instrumento	Escala
Variable 1: Índice de vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)	Densidad y vigor de la vegetación.	Cálculo entre las bandas del infrarrojo cercano y el rojo: $NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$	vegetación	NDVI	Análisis espacial de bandas espectrales	Intervalo
Variable 2: Índice de Suelo Desnudo (BSI)	Suelos desnudos y tierras en barbecho.	Cálculo de la diferencia entre las bandas de reflectancia del suelo desnudo y la vegetación: $BSI = ((SWIR + RED) - (NIR + BLUE)) / (SWIR + RED) + (NIR + BLUE)) + 1$	Suelo desnudo	BSI	Análisis espacial de bandas espectrales	Intervalo

3.3. Población, muestra y unidad de análisis

Población: La población del estudio estará conformado por el área total del hábitat crítico “Morro de Calzada”, la cual posee un total de 1 138.4734 hectáreas, según SERFOR (2021), en su visor gráfico GEOSERFOR (<https://geo.serfor.gob.pe/visor/>).

Muestra: Para la muestra se ha considerado un muestreo no probabilístico. Esto debido a que la muestra del estudio contempla toda el área del hábitat crítico “Morro de Calzada”.

Unidad de análisis: La unidad de análisis de la presente investigación corresponde a los píxeles o celdas de las imágenes satelitales en las cuales se calcula el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), índice de suelo desnudo (BSI) y análisis de cambio de vector (CVA).

3.3.1. Fuente, técnicas e instrumentos de recolección de datos

Debido a la naturaleza de esta investigación se emplearon datos provenientes de geo portales o geo servidores proveedores de imágenes satelitales gratuitos, tal como se muestra en la tabla 2:

Tabla 2

Fuentes, técnicas e instrumentos de recolección

Variables	Fuentes de Datos	Técnicas de Recolección	Instrumentos
Índice de vegetación de Diferencia Normalizada	Secundaria	Revisión de bases de datos de Información satelital	Bandas espectrales (Sentinel-2 / misión Copernicus)
Índice de Suelo Desnudo	Secundaria	Revisión de bases de datos de Información satelital	Bandas espectrales (Sentinel-2 / misión Copernicus)

3.3.2. Validación de los instrumentos

Los instrumentos utilizados están internacionalmente validados por los informes técnicos de la Agencia Espacial Europea (ESA); en la cual, en sus publicaciones detallan la calidad y la precisión de sus datos de teledetección obtenidos de la misión Copernicus (Sentinel-2), estos reportes son de acceso público (<https://sentiwiki.copernicus.eu/web/s2-mission>).

Así mismo, se realizaron salidas al área de estudio para corroborar la información obtenida de los satélites Sentinel-2.

3.3.3. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

- **Procesamiento de Imágenes Satelitales:**

Tipo de Análisis: Descarga y preprocesamiento de las imágenes satelitales de Sentinel-2 para obtener las bandas espectrales necesarias (B2, B4, B8 y SWIR) para calcular el NDVI y BSI.

Software / Programa: ArcGIS 10.8.

- **Cálculo del NDVI para los años 2016 - 2023:**

Tipo de Análisis: Utilización de las bandas espectrales B4 (RED: Rojo) y B8 (NIR: Infrarrojo cercano) para calcular el NDVI según la siguiente fórmula:

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)}$$

Software / Programa: ArcGIS 10.8.

- **Cálculo del BSI para el año 2016 - 2023:**

Tipo de Análisis: Utilización de las bandas espectrales B2 (BLUE: Azul), B4 (RED: Rojo), B8 (NIR: Infrarrojo cercano) y SWIR (Reflectancia en el infrarrojo de onda corta) para calcular el SBI según la siguiente fórmula.

$$BSI = \frac{(SWIR + RED) - (NIR + BLUE)}{(SWIR + RED) + (NIR + BLUE)} + 1$$

Software / Programa: ArcGIS 10.8.

- **Análisis de la magnitud y cambio de la dirección de la vegetación:**

Tipo de Análisis: Se utilizó el método de análisis de cambio de vector (CVA) propuesto por Malila (1980), en la cual establece lo siguiente:

La magnitud (ΔM) del cambio entre la fecha 1 (T1) y la fecha 2 (T2) se calcula mediante la distancia euclidiana de la siguiente manera:

$$\Delta M = \sqrt{(C1_{T2} - C1_{T1})^2 + (C2_{T2} - C2_{T1})^2}$$

Donde:

$C1$ = Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)

$C2$ = Índice de suelo desnudo (BSI)

$T1$ = Año 2016

$T2$ = Año 2023

Los resultados de la magnitud del cambio para el periodo 2016 - 2023 se presentaron como mapas categorizados en tres categorías: “sin cambios”, “cambio de bajo nivel” y “cambio de alto nivel” (Polykretis et al., 2020); para ello, una desviación estándar de la media se determinó como umbral para distinguir entre cambio y ningún cambio.

La dirección del cambio se basó en el ángulo (θ) del vector de cambio que indica el tipo de cambio de una fecha a otra mediante la siguiente ecuación:

$$\tan \theta = \frac{C2_{T2} - C2_{T1}}{C1_{T2} - C1_{T1}}$$

Dado que hay dos componentes, se dividió las direcciones de cambio en cuatro cuadrantes, según lo señalado por Polykretis et al. (2020):

- El primer cuadrante (0° - 90°) y el tercer cuadrante (180° - 270°) representan un aumento y una disminución, respectivamente, en ambos componentes.
- En cambio, el segundo cuadrante (90° - 180°) y el cuarto cuadrante (270° - 360°) indican que uno de los componentes aumenta mientras que el otro disminuye.

Cada uno de los cuatro cuadrantes está relacionado con una categoría que representa el tipo de cambio en la cobertura del suelo:

- La primera categoría, implica un aumento en ambos índices espectrales, representa la variación de biomasa o la reducción de humedad, lo cual se asocia con cambios en las áreas agrícolas, como la sustitución de cultivos o diferentes etapas fenológicas en el ciclo agrícola (Farias et al., 2014).
- La segunda categoría, muestra una disminución en el índice de vegetación y un aumento en el índice de suelo, indicando la expansión del suelo desnudo, es decir, áreas con degradación del suelo (Polykretis et al., 2020).
- La tercera categoría, refleja una disminución en ambos índices espectrales, representando el aumento de la masa de agua o la humedad (Polykretis et al., 2020).
- La cuarta categoría, revela un aumento en el índice de vegetación y una disminución en el índice de suelo, representando el recrecimiento de la vegetación, es decir, áreas con mejora del suelo (Polykretis et al., 2020).

Software / Programa: ArcGIS 10.8.

- **Estadísticas Descriptivas:**

Tipo de Análisis: Análisis de estadísticas descriptivas para resumir y visualizar los resultados obtenidos de los valores de NDVI y BSI.

Software / Programa: ArcGIS 10.8 y Excel.

- **Análisis Espacial:**

Tipo de Análisis: Utilización de herramientas de análisis espacial para identificar espacialmente el cambio de cobertura en el hábitat crítico Morro de Calzada.

Software / Programa: ArcGIS 10.8.

3.3.4. Aspectos éticos a considerar

En la investigación científica, es fundamental que el investigador respete los principios éticos como la originalidad, integridad y transparencia (Reyes et al., 2020). En consecuencia, el investigador declara que su participación en este estudio cumplió con los principios éticos generales de la investigación.

3.3.5. Presentación de la información

Los resultados investigación están presentados en tablas y figuras (mapas).

3.3.6. Matriz de consistencia

Tabla 3

Matriz de consistencia

Problema de investigación	Objetivos	Hipótesis	Variables e indicadores		Metodología
	Objetivo general		Variable 1	Tipo de investigación	Población y muestra
¿Cómo es el cambio en la vegetación del hábitat crítico Morro De Calzada (San Martín) mediante el uso de índices de vegetación (2016-2023)?	Evaluar el cambio en la vegetación del hábitat crítico Morro De Calzada (San Martín) mediante el uso de índices de vegetación (2016-2023).	Existe un cambio en la vegetación del hábitat crítico Morro De Calzada (San Martín) mediante el uso de índices de vegetación (2016-2023).	Índice de vegetación de Diferencia Normalizada	Investigación cuantitativa	Población: Hábitat crítico Morro de Calzada (1138.4734 ha.)
	Objetivos específicos	Morro De Calzada (San Martín)	Indicadores		Muestra: Hábitat crítico Morro de Calzada (1138.4734 ha.)
	- Calcular el NDVI del hábitat crítico Morro de Calzada (2016 - 2023).	mediante el uso de índices de vegetación (2016-2023).	NDVI	No experimental	Técnicas y Instrumentos:
	- Calcular el SBI del hábitat crítico Morro de Calzada (2016 - 2023).		Índice de Suelo Desnudo		Técnicas: - Revisión de bases de datos de Información satelital. - Análisis espacial.
	- Calcular la magnitud del cambio en la vegetación del hábitat crítico Morro de Calzada (2016 - 2023).				Instrumentos: - Bandas espectrales

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

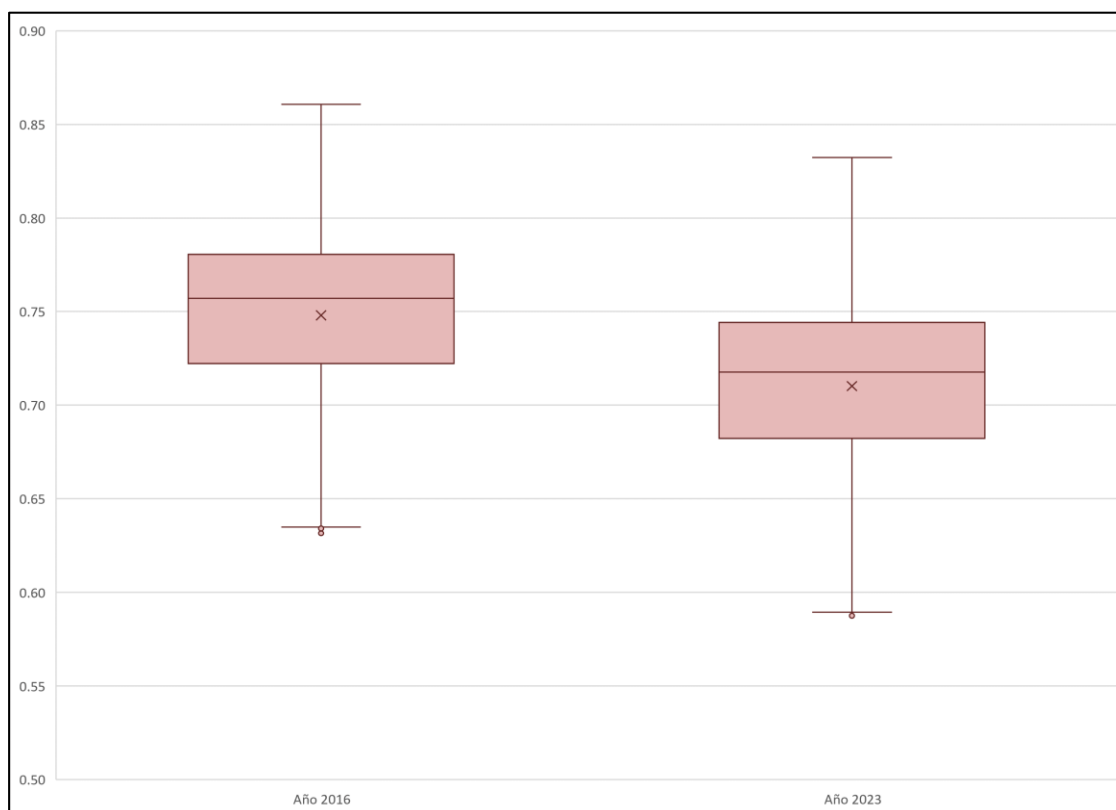
4.1.1. Cálculo del NDVI del hábitat crítico Morro de Calzada (2016 - 2023)

Para el año 2016, los valores de NDVI presentados en la figura 2 muestran una mediana de 0,76, con un rango intercuartílico entre 0,72 (Q1) hasta 0,78 (Q3). Los límites de variabilidad se extienden desde un valor mínimo de 0,63 hasta un valor máximo de 0,86, lo que sugiere que la mayor parte del área tiene una vegetación densa. La media obtenida es de 0,75, lo que refuerza esta tendencia.

Por otro lado, para el año 2023, los valores de NDVI presentan una mediana de 0,72, con un rango intercuartílico que va desde 0,68 (Q1) hasta 0,74 (Q3). Los límites de variabilidad se extienden desde un valor mínimo de 0,59 hasta un valor máximo de 0,83. La media obtenida es de 0,71.

Figura 2

Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) en los años 2016 y 2023



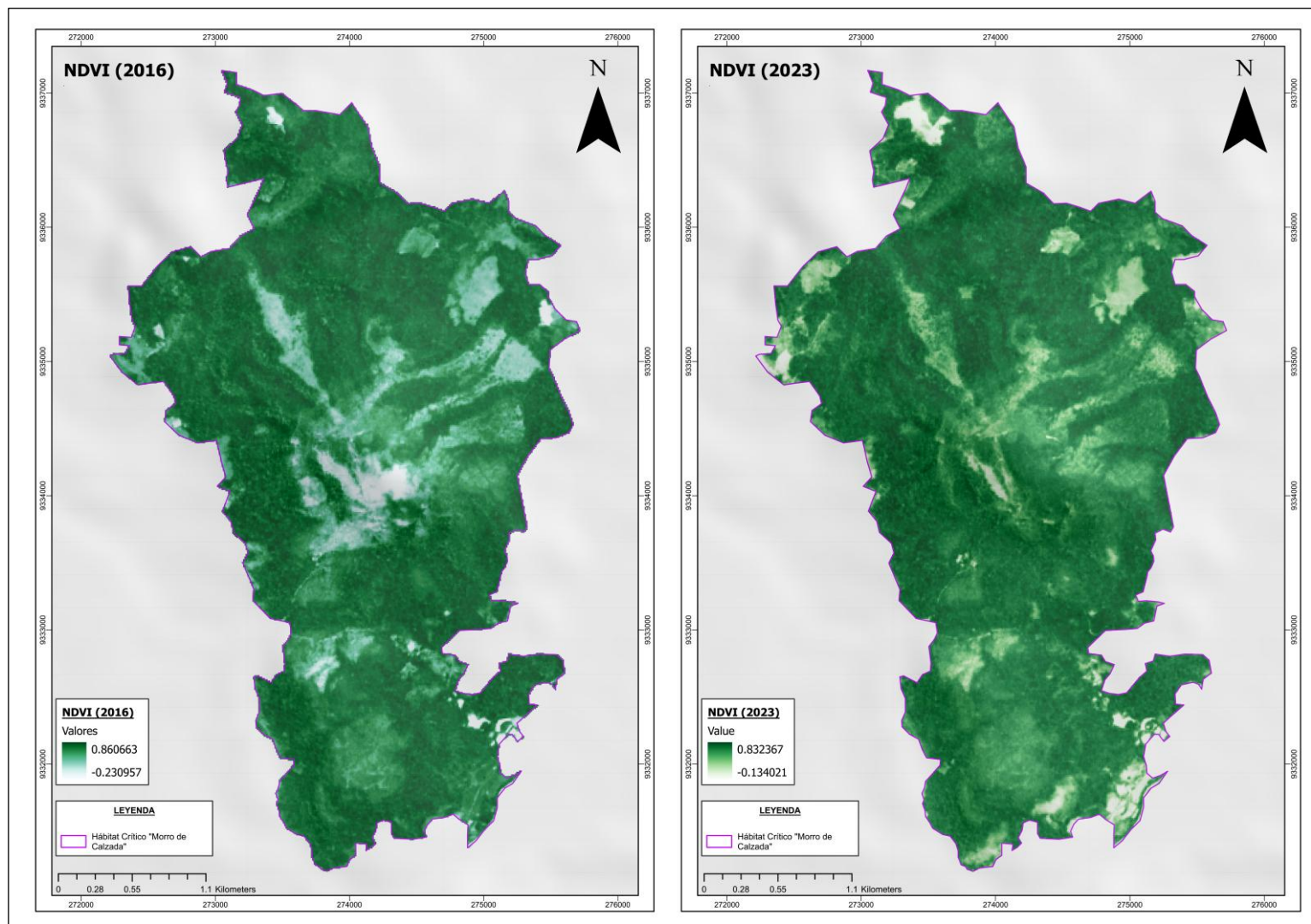
La figura 3 muestra la representación visual de los resultados obtenidos del cálculo del NDVI, en los años de estudio (2016 y 2023).

En el cálculo del NDVI del año 2016, las áreas con un color verde claro o blanco representan zonas con un NDVI bajo, siendo el valor mínimo el total de -0,23. Mientras que las áreas con un color verde oscuro representan zonas con un NDVI alto, siendo el valor máximo el total de 0,86.

Por otro lado, en el cálculo del NDVI del año 2023, las áreas con un color verde claro o blanco representan zonas con un NDVI bajo, siendo el valor mínimo el total de -0,13. Mientras que las áreas con un color verde oscuro representan zonas con un NDVI alto, siendo el valor máximo el total de 0,83.

Figura 3

Mapas del NDVI en los años 2016 y 2023



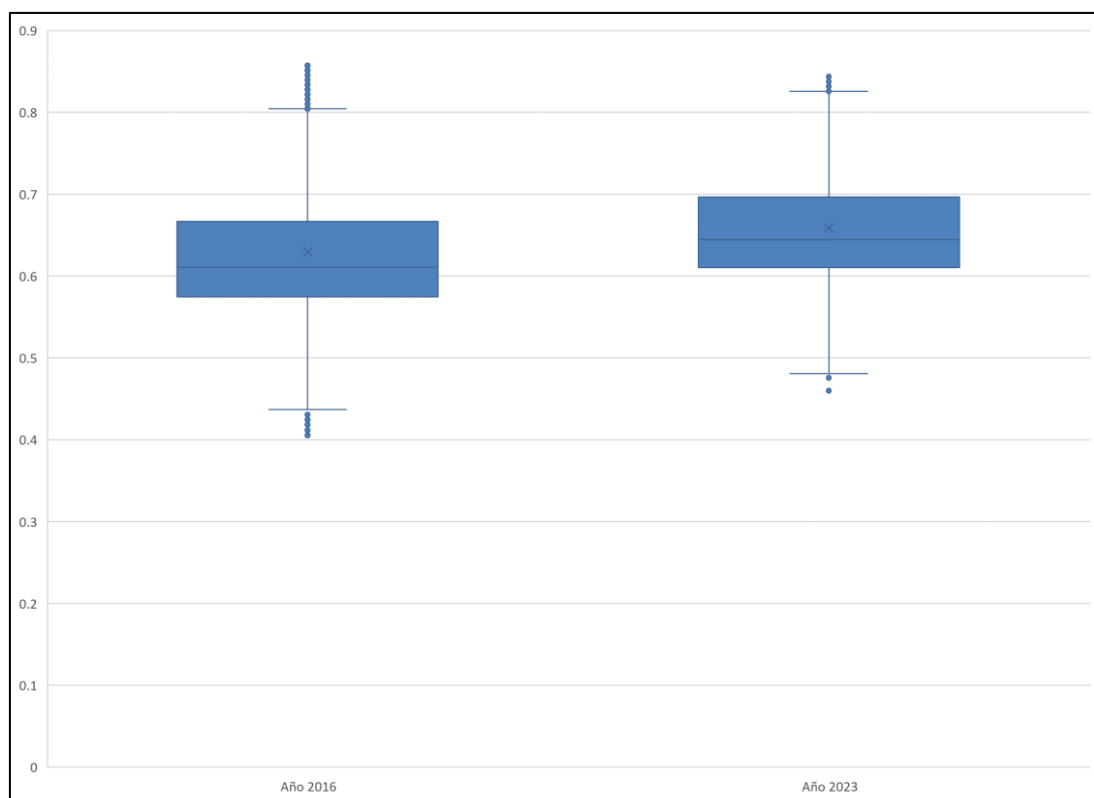
4.1.2. Cálculo del BSI del hábitat crítico Morro de Calzada (2016 - 2023)

Respecto a los resultados obtenidos del cálculo del BSI, de acuerdo a la figura 4; en el año 2016, los resultados presentan una mediana de 0,61, con un rango intercuartílico entre 0,58 (Q1) y 0,66 (Q3). Los límites de variabilidad se extienden desde un valor mínimo de 0,44 hasta un valor máximo de 0,81, y la media obtenida es de 0,62. Estos resultados indican una amplia variación en los valores del BSI, con áreas que presentan niveles moderados a altos de exposición de suelo desnudo.

Para el año 2023, los valores del BSI muestran una mediana ligeramente superior de 0,64, con un rango intercuartílico que va desde 0,61 (Q1) hasta 0,69 (Q3). Los límites de variabilidad se extienden nuevamente desde un valor mínimo de 0,48 hasta un máximo de 0,82, y la media aumentó a 0,66.

Figura 4

Índice de Suelo Desnudo (BSI) en los años 2016 y 2023



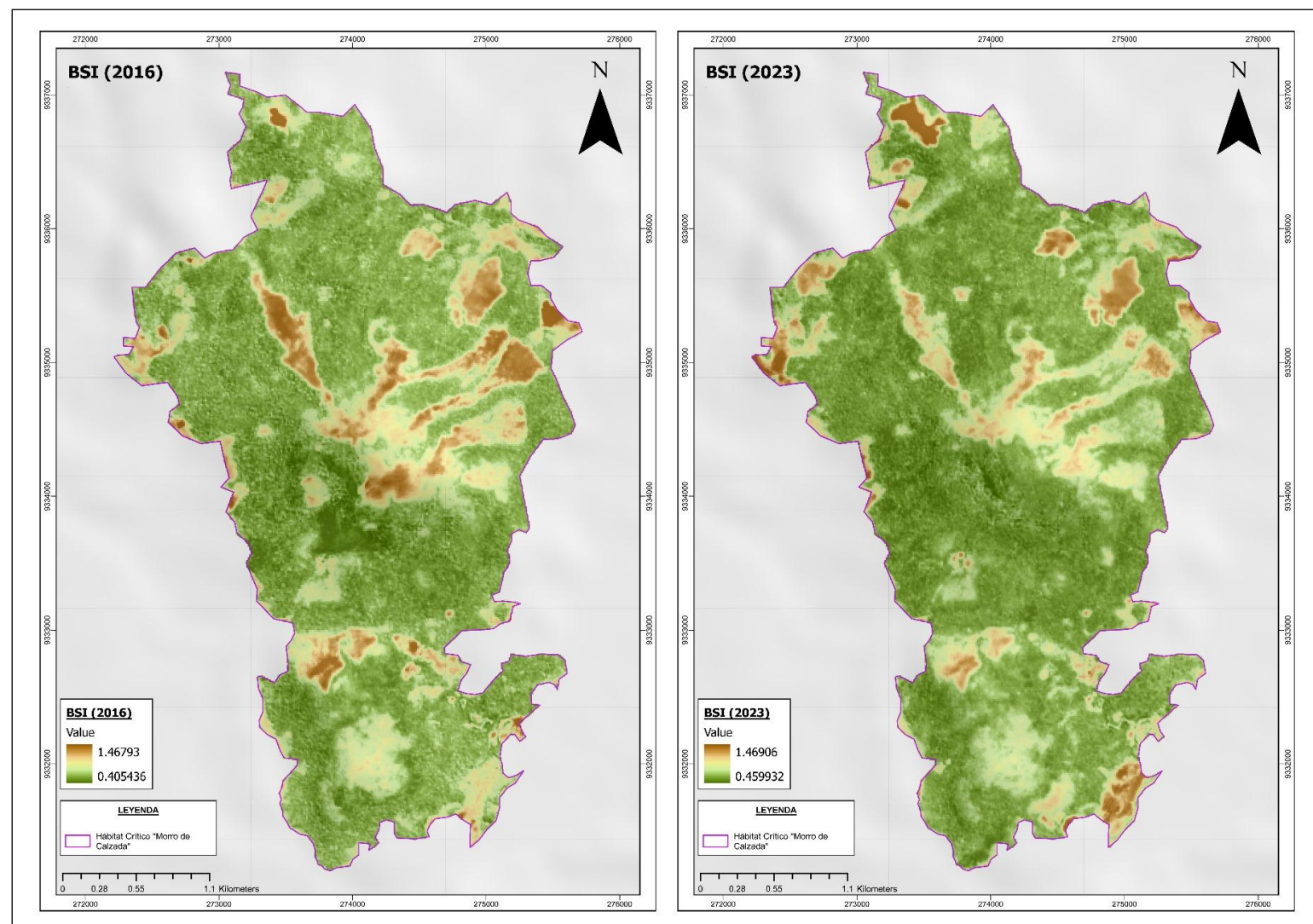
La figura 5 muestra la representación visual de los resultados obtenidos del cálculo del BSI, en los años de estudio (2016 y 2023).

En el cálculo del BSI del año 2016, las áreas con un color verde representan zonas con un BSI bajo, siendo el valor mínimo el total de 0,41. Mientras que las áreas con un color marrón representan zonas con un BSI alto, siendo el valor máximo el total de 1,47.

Por otro lado, en el cálculo del BSI del año 2023, las áreas con un color verde representan zonas con un BSI bajo, siendo el valor mínimo el total de 0,42. Mientras que las áreas con un color marrón representan zonas con un BSI alto, siendo el valor máximo el total de 1,47.

Figura 5

Mapas del BSI en los años 2016 y 2023



4.1.3. *Cálculo del vector del cambio en la vegetación del hábitat crítico Morro de Calzada (2016 - 2023)*

En la figura 6 y figura 7 se presenta la magnitud del cambio de vector respecto a la vegetación entre los años 2016 y 2023 en el hábitat crítico Morro de Calzada. Se observa que el 76,33 % del área total (1 138.4734 ha) no ha experimentado cambios significativos en su cobertura vegetal, lo que sugiere una estabilidad en la vegetación en la mayor parte de la región. Sin embargo, el 23,67 % del área ha mostrado cambios significativos en la cobertura, lo que indica que hay sectores que han experimentado variaciones en su estado ecológico.

Dentro de este porcentaje que ha experimentado cambios, el 14,82 % corresponde a cambios significativos de bajo nivel, lo que podría implicar alteraciones menores que no afectan drásticamente la salud del ecosistema. Por otro lado, el 8,85 % del área total ha sufrido cambios significativos de alto nivel, lo que podría ser indicativo de transformaciones más serias en la cobertura vegetal, posiblemente asociadas a factores ambientales o actividades humanas.

Figura 6

Magnitud de cambio entre los años 2016 y 2023

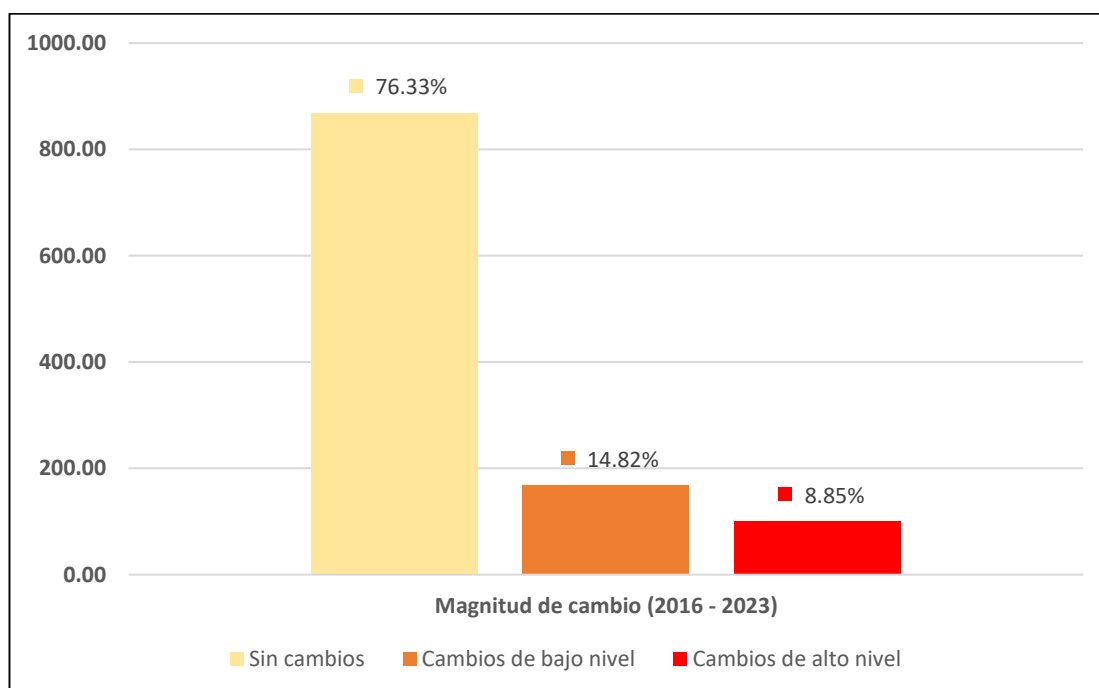
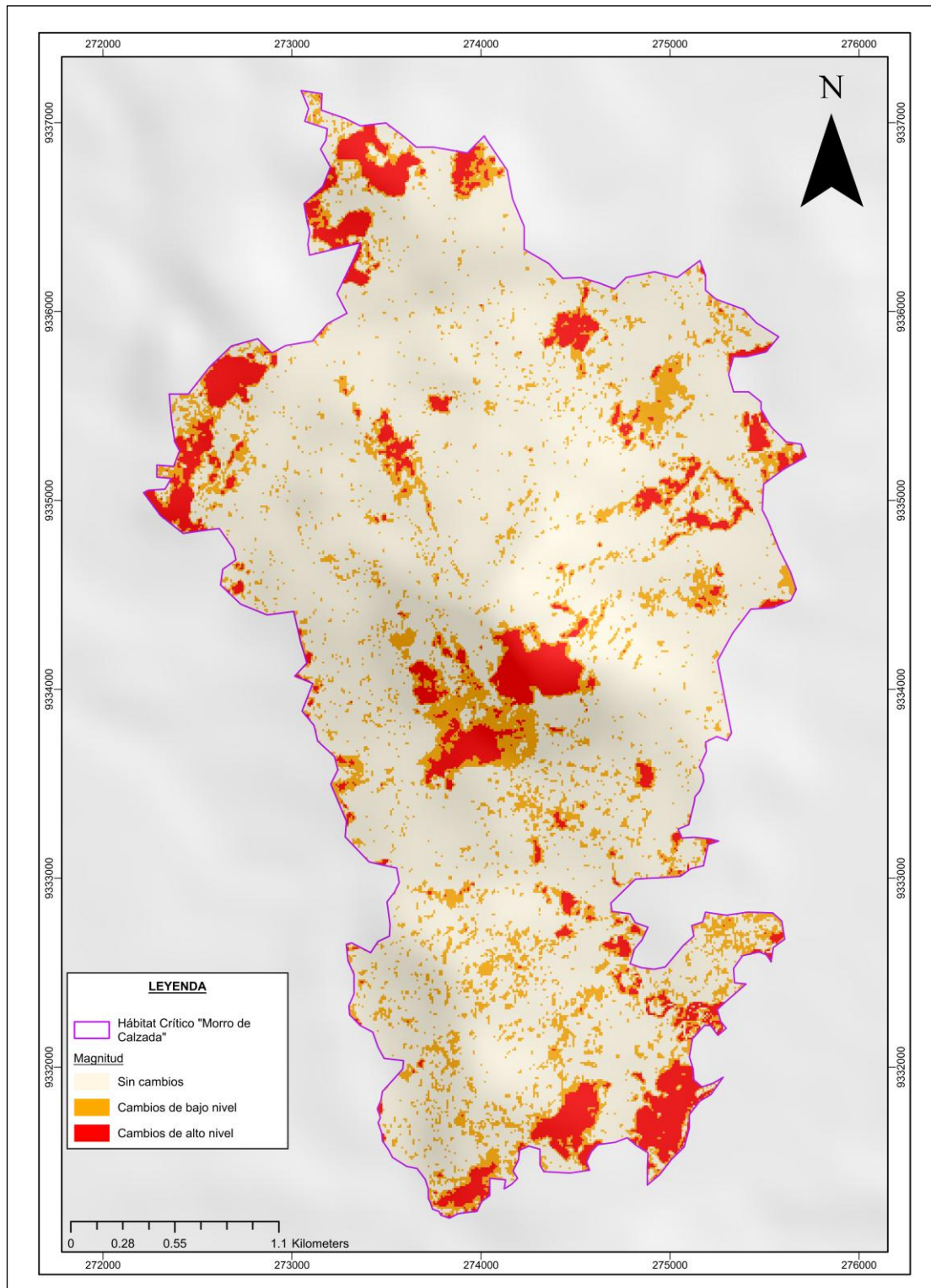


Figura 7

Mapa de la magnitud de cambio entre los años 2016 y 2023



En cuanto a la dirección del cambio de vector, en la figura 8 y figura 9 se puede observar que del 23,67 % (287,45 ha) del área total del hábitat crítico con cambios significativos, se han clasificado las alteraciones en varias categorías. El 18,85 % corresponde al aumento de masas de agua o humedad, lo que sugiere una mayor acumulación de agua en zonas previamente secas, facilitando la formación de charcas.

En contraste, el 44,74 % de esta área ha sido identificado como expansión de suelo desnudo, lo que podría reflejar un aumento en la erosión o la degradación del suelo, posiblemente relacionado con actividades humanas o cambios en el uso del suelo. Además, el 25,23 % representa variaciones en la biomasa y reducción de la humedad, lo que puede señalar un deterioro en la calidad del hábitat y un impacto negativo de la vegetación.

Finalmente, el 11,38 % corresponde al aumento de la vegetación, lo que podría indicar áreas que han tenido una recuperación o expansión de la cobertura vegetal, contribuyendo positivamente a la biodiversidad del hábitat.

Figura 8

Dirección de cambio entre los años 2016 y 2023

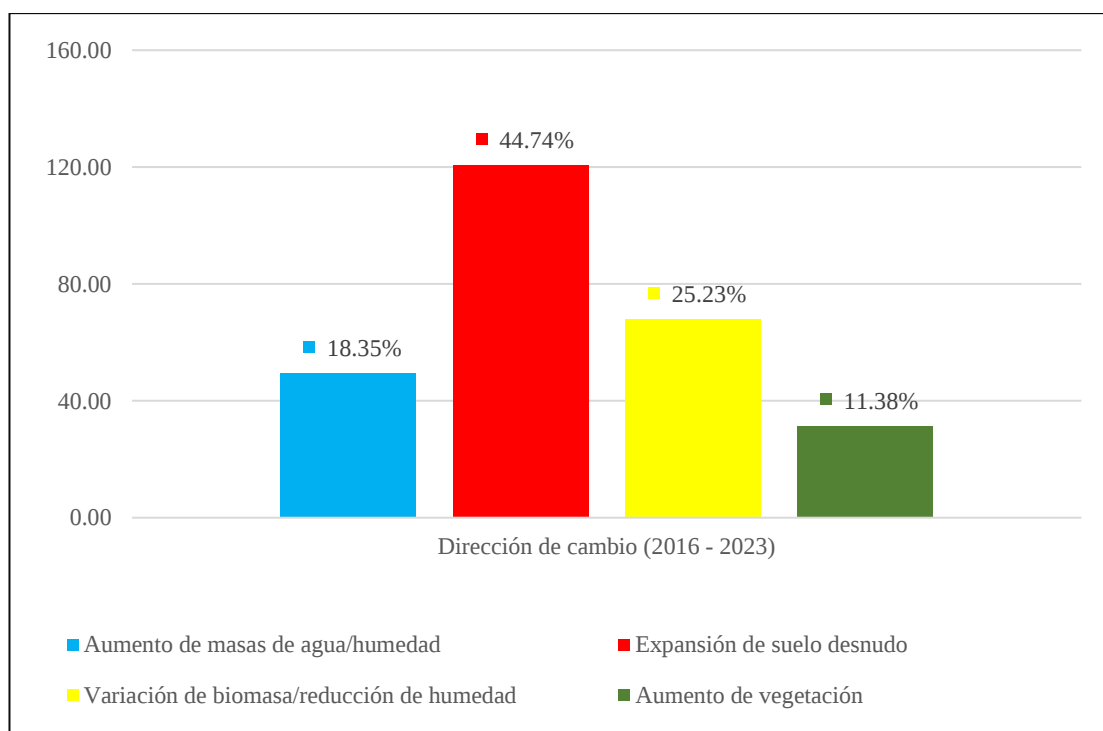
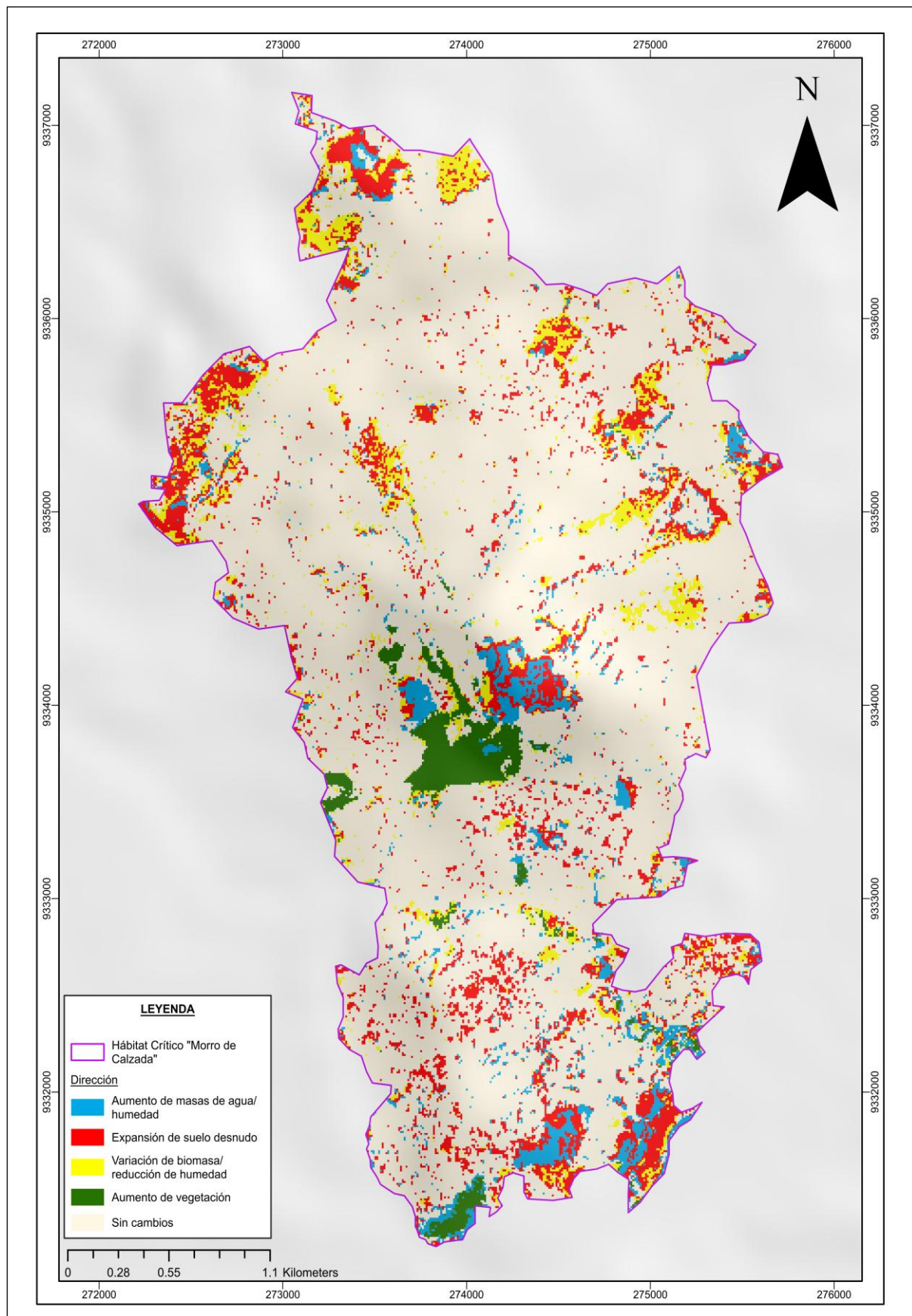


Figura 8

Mapas de dirección de cambio entre los años 2016 y 2023



4.2. Discusión

Los resultados obtenidos en el análisis de los índices de NDVI y BSI, reflejados en las figuras 2 y 4, muestran tendencias importantes en la cobertura vegetal del hábitat crítico Morro de Calzada entre los años 2016 y 2023. Se han identificado valores atípicos (outliers) en ambos índices, que podrían deberse a la presencia de nubosidad y sombras en las imágenes satelitales, como menciona Amjad et al. (2013) este fenómeno puede alterar la calidad de las imágenes y afectar la interpretación de los datos obtenidos.

Al comparar nuestros hallazgos con los de Polykertis et al. (2020), que documentaron un 68,78 % de cambios significativos en la cobertura del suelo en Creta entre 1999 y 2019, con los obtenidos en esta investigación (23,67 %) se observa que es notablemente inferior. Esta discrepancia puede atribuirse a la estricta protección y conservación de Morro de Calzada, especialmente tras la implementación de la Resolución Directoral Ejecutiva N° 139-2019-MINAGRI-SERFOR-DE, que categoriza esta área como un hábitat crítico, por la presencia del mono tocón de San Martín (*Plecturocebus oenanthe*). La estabilidad en la cobertura vegetal en el 76,33 % del área sugiere que las medidas de conservación han sido efectivas en preservar el ecosistema.

El análisis de NDVI en nuestro estudio mostró una ligera disminución de 0,76 en 2016 a 0,72 en 2023, indicando un posible deterioro en la salud de la vegetación en algunas áreas. Narmashiri et al. (2022) resaltan que el desarrollo de tierras cultivadas y el cambio en el uso del suelo tienen un impacto significativo en los indicadores de desertificación. Aunque no hemos detectado cambios tan drásticos, la disminución en el NDVI podría ser un signo de presiones externas, como el aumento de actividades humanas.

En relación con el índice BSI, notamos un aumento en la mediana de 0,61 en 2016 a 0,64 en 2023. Este aumento puede interpretarse como una mayor exposición de suelo desnudo, lo cual es preocupante dado que, como argumentan Narmashiri et al. (2022), la exposición del suelo puede conducir a procesos de erosión y degradación del ecosistema. Esta situación es consistente con los hallazgos de Yang (2022), quien documentó la pérdida significativa de bosques en la región Andes-Amazonía, asociando estos cambios a factores como la tala ilegal y el crecimiento poblacional.

En la investigación de Polykertis et al. (2020) también llevaron a cabo un análisis sobre la detección de cambios en la cobertura del suelo usando análisis de vectores de cambio en la isla de Creta, donde encontraron una magnitud de cambios significativos en la cobertura del 68,78 % del área estudiada durante el periodo de 1999 a 2009 y del 62,93 % del área estudiada durante el periodo de 2009 a 2019. Sin embargo, la magnitud de los cambios en la presente investigación en el Morro de Calzada es notablemente inferior, con un 23,67 % (287,45 ha) de cambios significativos, esto sugiere que el área de estudio ha mantenido una mayor resiliencia frente a las variaciones ambientales, posiblemente debido a un manejo adecuado y un monitoreo continuo tras su establecimiento como un hábitat crítico.

Los hallazgos sobre las 287,45 ha. (23,67 %) de cambios significativos en la cobertura vegetal, que incluyen un aumento del 18,85 % en cuerpos de agua, pueden reflejar cambios en las precipitaciones y condiciones ambientales, lo que podría estar en línea con las observaciones de Saavedra (2019) sobre la variabilidad espacial de la vegetación en distritos adyacentes; afirma además que, a pesar de la pérdida de vegetación en ciertas áreas, otras han experimentado un crecimiento, lo que sugiere una dinámica compleja en la cobertura vegetal que puede ser influenciada por las condiciones climáticas y las intervenciones humanas.

Por otro lado, el 44,74 % de área identificada como expansión de suelo desnudo sugiere que todavía existen áreas vulnerables a la erosión y degradación. Este hallazgo está en línea con las conclusiones de Vega (2022), que discutió cómo las perturbaciones, como incendios forestales, pueden impactar negativamente el NDVI, coincidiendo con diversos reportes de incendios forestales en Morro de Calzada entre 2016 y 2023 (Anexo 1), lo cual resalta la necesidad de un seguimiento continuo para mitigar la degradación y promover la recuperación de estas áreas afectadas.

Finalmente, el 11,38 % de aumento en la vegetación podría indicar esfuerzos de restauración y regeneración natural en ciertas áreas. Este aspecto positivo sugiere que algunas partes del hábitat están respondiendo favorablemente a las condiciones ambientales, lo cual es alentador. Sin embargo, es importante considerar las causas de este aumento y cómo se relacionan con las prácticas de manejo y conservación implementadas en el área. El éxito en la recuperación de la vegetación también depende de la capacidad del ecosistema para adaptarse a cambios ambientales, como variaciones en la precipitación y el uso del suelo. Por lo tanto, mantener y fortalecer las estrategias de conservación no solo es esencial para preservar los

avances logrados, sino también para asegurar la sostenibilidad del ecosistema en el futuro frente a posibles amenazas.

La metodología usada en la presente investigación, el Análisis de Vector de Cambio (CVA) propuesto por Malila en 1980, permitió identificar tendencias en el cambio de la vegetación del hábitat crítico Morro de Calzada entre 2016 y 2023. Sin embargo, diversos investigadores han desarrollado extensiones del CVA, mejorando su aplicabilidad en distintos contextos. Como lo señala Lv et al. (2021), no existe un método CVA universalmente "bueno" o "malo", ya que su efectividad varía según los conjuntos de datos utilizados. En este sentido, es crucial seleccionar la variante de CVA más adecuada para los datos y el área de estudio.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

El cálculo del índice de Vegetación Normalizada (NDVI) mostró una ligera disminución en la mediana, de 0,76 en 2016 a 0,72 en 2023, sugiriendo un deterioro en la salud de la vegetación en algunas áreas, aunque la mayoría de los valores indican una buena densidad de vegetación. Por otro lado, el Índice de Suelo Desnudo (BSI) reveló un aumento en la mediana, de 0,61 a 0,64, lo que podría indicar una mayor exposición de suelo desnudo y un posible riesgo de erosión.

El análisis de la magnitud del cambio de vector indicó que el 23,67 % (287,45 ha) de la cobertura vegetal presentó cambios significativos, siendo el 18,85 % de estos cambios atribuibles a un aumento de masas de agua o humedad. Esto sugiere una dinámica en la distribución de la humedad que debe ser monitoreada, especialmente ante las variaciones climáticas.

El hallazgo de un 44,74 % de expansión de suelo desnudo, respecto al total de cambios significativos (287,45 ha), subraya la necesidad de atención en áreas vulnerables a la erosión y degradación. A pesar de la estabilidad general en la cobertura vegetal, ciertas zonas requieren medidas de conservación y restauración efectivas.

5.2. Recomendaciones

Se recomienda implementar un sistema de monitoreo continuo de la cobertura vegetal en Morro de Calzada utilizando índices de vegetación con la finalidad de detectar cambios en tiempo real y facilitará la gestión adecuada del hábitat crítico.

A la EAPIF de la UNC, adaptar la presente metodología para otras investigaciones en la zona; asimismo se sugiere acceder a base de datos de plataformas como Planet para poder desarrollar investigaciones en la gestión de recursos hídricos, incendios forestales, dinámica de forestal, entre otros.

Es fundamental mantener y fortalecer las estrategias de conservación que han demostrado ser efectivas en la protección del ecosistema. Se sugiere fomentar programas de restauración en áreas afectadas por la erosión y la exposición del suelo desnudo.

Se propone realizar estudios complementarios que analicen las causas detrás de los cambios observados en la cobertura vegetal, incluyendo factores ambientales y humanos. Esto permitirá identificar intervenciones específicas para mitigar la degradación y promover la restauración de la vegetación.

Desarrollar campañas de educación ambiental dirigidas a las comunidades locales puede ser beneficioso para involucrarlas en la conservación del hábitat crítico. Buscando concientizar a las personas aledañas del área para el éxito de las estrategias de conservación.

Promover la colaboración entre diferentes instituciones, organizaciones no gubernamentales y comunidades locales para la implementación de proyectos de conservación y restauración. Un enfoque multidisciplinario contribuirá a una gestión más efectiva del hábitat crítico.

CAPÍTULO VI

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AL-Khakani, E. & Hamid, H. (2023). Monitoring land cover dynamics utilizing a change vector analysis approach: a case study of al Najaf Province, Iraq. *Kuwait Journal of Science*. 50(1B), 1-15, <https://doi.org/10.48129/kjs.16391>
- Alosno-Sarría, F. (2006). *Sistemas de información geográfica*. Universidad de Murcia.
- Amjad A., C.A.J.M. de Bie, A.K. Skidmore. (2013). Detecting long-duration cloud contamination in hyper-temporal NDVI imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 24, 22-31. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2013.02.001>
- Baeza, S. & Paruelo, J. M. (2020). Land Use/Land Cover Change (2000–2014) in the Rio de la Plata Grasslands: An Analysis Based on MODIS NDVI Time Series. *Remote Sens*, 12(3), 381. <https://www.mdpi.com/2072-4292/12/3/381>
- Blaga, L., Ilieș, D.C., Wendt, J.A., Rus, I., Zhu, K. & Dávid, L.D. (2023). Monitoring Forest Cover Dynamics Using Orthophotos and Satellite Imagery. *Remote Sens*, 15(12), 3168. <https://doi.org/10.3390/rs15123168>
- Coppin, P., Jonckheere, I., Nackaerts, K., Muys, B., & Lambin, E. (2004). Digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review. *International Journal of Remote Sensing*, 25(9), 1565-1596. <https://doi.org/10.1080/0143116031000101675>
- Cruz, J. A. (2023). *Aplicación de tecnología satelital en cultivos de exportación del valle de Ica, como herramienta para la gestión agrícola* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio institucional. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/6108>
- Delach, A., Nunes, L., Borowicz, A. & Weber, T. (2024). Designated critical habitats for U.S. imperiled species are not protected from climate and land-use change. *Geography and Sustainability*, 5(3), 482-490. <https://doi.org/10.1016/j.geosus.2024.06.001>
- Díaz, S., Settele, J., Brondízio, E., Ngo, H., Agard, J., Arneth, A., Balvanera, P., Brauman, K., Butchart, S., Chan, K., Garibaldi, L., Ichii, Liu, J., Subramanian, S., Midgley, C., Miloslavich, P., Molnár, Z., Obura, D., Pfaff, A., Polasky, E., Purvis, A., Razzaque, J., Reyers, B., Chowdhury, R., Yunnan-Jai, S., Visseren-Hamakers, I., Willis, K. &

- Zayas, C. (2019). Pervasive human-driven decline of life on Earth points to the need for transformative change. *Science*, 366(6471), eaax3100. <https://doi.org/10.1126/science.aax3100>
- DS N° 004-2014-MINAGRI (8 de abril de 2014). Actualización de la lista de clasificación y categorización de las especies amenazadas de fauna silvestre legalmente protegidas. <https://www.midagri.gob.pe/portal/decreto-supremo/ds-2014/10837-decreto-supremo-n-004-2014-minagri>
- Ellis, E. C., Goldewijk, K. K., Siebert, S., Lightman, D. & Ramankutty, N. (2010). Anthropogenic transformation of the biomes, 1700 to 2000. *Global Ecology and Biogeography*, 19(5), 589-606. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2010.00540.x>
- Espinoza, V. E. (2016). *Impulsores de cambio en el uso de suelo y almacenamiento de carbono sobre un gradiente de modificación humana de Paisajes en Nicaragua* [Tesis de maestría, Centro Agronómico Tropical de Investigación y enseñanza]. Repositorio de conocimiento institucional. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/8589>
- European Space Agency. (2017). Earth Engine Data Catalog: Sentinel-2 MSI: MultiSpectral Instrument, Level-2A. https://developers.google.com/earthengine/datasets/catalog/COPERNICUS_S2_SR
- Farias, P. J., Almeida, L. F. & Silva, R. (2014). Change vector analysis to detect deforestation and land use/land cover change in Brazilian Amazon. *Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities research medium*, 5(2), 371-387. <https://seer.ufu.br/index.php/braziliangeojournal/article/view/24886>
- Ferro-Díaz, J. (2015). Manual revisado de métodos útiles en el muestreo y análisis de la vegetación. *ECOVIDA*, 5, 139-186. <https://revistaecovida.upr.edu.cu/index.php/ecovida/article/view/72>
- Gamez, K. S. (2024). *Deep Learning en agricultura: conceptos y aplicaciones en la identificación de cultivos sobre imágenes satelitales* [Tesis de licenciatura, Universidad de los Andes]. Repositorio institucional Séneca. <https://hdl.handle.net/1992/73839>

- Isbell, F., Balvanera, P., Mori., A. S., Jimn-Sheng, H., Bullock, J. M., Regmi, G. R., Seabloom, E. W., Ferrier, S., Sala, O. E., Guerrero-Ramírez, N. R., Tavella, J., Larkin, D. J., Schmid, B., Outhwaite, C. L., Pairot, P., Borer, E. T., Loreau, M., Omotoriogum, T. C., Obura, D. O., ..., Palmer, M. S. (2023). Expert perspectives on global biodiversity loss and its drivers and impacts on people. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 21(2), 94-103. <https://doi.org/10.1002/fee.2536>
- Jaureguiberry, P., Titeux, N., Wiemrs, M., Bowler, D., Coscieme, L., Golden, A., Guerra, C., Yasuo, U., Settele, J., Díaz, S., Molnár, Z. & Purvis, A. (2022). The direct drivers of recent global anthropogenic biodiversity loss. *Science Advances*, 8(45), eabm9982. <https://doi.org/10.1126/sciadv.abm9982>
- Lautenbach, S., Kugel, C., Lausch, A. & Seppelt, R. (2011). Analysis of historic changes in regional ecosystem service provisioning using land use data. *Ecological Indicators*, 11, 676–687. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2010.09.007>
- Lv, Z., FengJu, W., LinFu, X., WeiWei, S., Falco, N., Benediktsson, J. & ZhenZhen, T. (2021). Spatial–Spectral Attention Network Guided With Change Magnitude Image for Land Cover Change Detection Using Remote Sensing Images. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 60, 1-12. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2021.3115481>
- Malila, W. A. (1980). Change vector analysis: An approach for detecting forest changes with Landsat. En *Proceedings of the 6th Annual Symposium on Machine Processing of Remotely Sensed Data* (pp. 326-335). Purdue University.
- MapBiomass (2024). MapBiomass Perú [Geovisor]. <https://plataforma.peru.mapbiomas.org/>
- Masís, R. & Vargas, H. (2014). Incremento de áreas impermeables por cambios de usos de la tierra en la microcuenca del río Burío. *Revista Reflexiones*, 93(1), 33-46. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1659-28592014000100003
- Miret-Minard, G., Hermoso, V., Villero, D., Bota, G., Brotons, L. & Morán-Ordoñez, A. (2024). Navigating divergent perspectives on critical habitat designation: Insights from the little bustard (*Tetrax tetrax*) conservation in Spain. *Journal for Nature Conservation*, 80, 126633. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2024.126633>

- Muñoz, J. D. (2022). *Temperatura superficial terrestre en Algeciras Huila, una comparación entre teledetección e información in situ para el año 2021* [Tesis de licenciatura, Universidad Distrital San José de Caldas]. Repositorio Institucional. <http://hdl.handle.net/11349/34542>
- Narmashiri, F., ghorbani, M., Zehtabian, G., Azarnivand, H., Alambeigi, A., & Scholz, R. W. (2022). Evaluation and analysis of desertification change using change vector analysis method (Region of study: Ghalehgang County). *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 29(1), 53-65. <https://doi.org/10.22092/ijrdr.2022.126004>
- Nugroho, G., Chulafak, G. A. & Yulianto, F. (2021). Rapid detection of land cover change in tropical savanna environment using conditional change vector analysis on remote sensing data in moyo watershed, sumbawa regency, west Nusa Tenggara province, Indonesia. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 8(3), 2731–2741. <https://doi.org/10.15243/jdmlm.2021.083.2731>
- Olivares, B. & López-Beltran, M. (2019). Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada aplicado al territorio indígena agrícola de Kashaama, Venezuela. *Cuadernos de Investigación UNED*, 11(2), 112-121. <http://dx.doi.org/10.22458/urj.v11i2.2299>
- OM N° 180-MPM (18 de setiembre de 2008). Zonificación Ecológica Económica de la Cuenca del Alto Mayo. <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-zonificacion-ecologica-economica-cuenca-alto-mayo-jurisdiccion>
- OR N° 002-2009-GRSM/PGR (14 de diciembre de 2019). Zonificación Económica Ecológica - ZEE del Departamento de San Martín. <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-reglamento-aplicacion-zee-departamento-san-martin-1>
- Pareza, S. & Paruelo, J. M. (2020). Land Use/Land Cover Change (2000–2014) in the Rio de la Plata Grasslands: An Analysis Based on MODIS NDVI Time Series. *Remote Sens*, 12(3), 381. <https://doi.org/10.3390/rs12030381>
- Pérez, G. & Muños, A. (Ed.) (2006). Teledetección: Nociones y Aplicaciones. Universidad de Salamanca.

- Phiri, D., Simwanda, M., Salekin, S., Nyirenda, V. R., Murayama, Y. & Ranagalage, M. (2020). Sentinel-2 Data for Land Cover/Use Mapping: A Review. *Remote Sens*, 12(14), 2291. <https://doi.org/10.3390/rs12142291>
- PMT (2023). Restauración Ecológica. https://monotocon.org/quehacemos.php?id_quehacemos=7#:~:text=%C2%BFPor%20qu%C3%A9%20esta%20iniciativa?,%C2%BFQu%C3%A9%20esperamos?
- Polykretis, C., Grillakis, M. & Alexakis, D. (2020). Exploring the Impact of Various Spectral Indices on Land Cover Change Detection Using Change Vector Analysis: A Case Study of Crete Island, Greece. *Remote Sens*, 12(2), 319. <https://doi.org/10.3390/rs12020319>
- Quispe, R. R. (2020). Procesamiento e interpretación de imágenes satelitales para el monitoreo de calidad de agua, aplicado a la laguna Alalay Cochabamba – Bolivia [Tesis de licenciatura, Universidad Mayor de San Andres]. Repositorio institucional. <http://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/32870>
- Reyes, J., Cárdenas M. y Plua, K. (2020). Considerations regarding the fulfillment of ethical principles in scientific research. *Conrado*, 16(77), 154-161
- RDE N° 139-2019-MINAGRI-SERFOR-DE (12 de julio de 2019). <https://busquedas.elperuano.pe/dispositivo/NL/1787767-1>
- RGG N° D000006-2021-MIDAGRI-SERFOR-GG (22 de marzo de 2021). <https://www.gob.pe/institucion/serfor/normas-legales/1786748-d0006-2021-midagri-serfor-gg>
- Saavedra, R. J. (2019). *Variabilidad espacio-temporal de vegetación de los distritos colindantes a la zona de amortiguamiento del ACR- CE provincia San Martín durante el periodo 2009-2018* [Tesis de licenciatura, Universidad Peruana Unión]. Repositorio de tesis. <http://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/1947>
- Sade, N., Jaya, I., Saleh, M., Syaufina, L. & Kuncahyo, B. (2022). Detecting burnt severity and vegetation regrowth classes using a change vector analysis approach: a case study in the southern part of Sumatra, Indonesia. *International Journal of Wildland Fire*, 31(12), 1114-1128. <https://doi.org/10.1071/WF21190>
- Miguel, S. P. J. (2020). Sistemas de información geográfica. Editorial UNED.

- MINCETUR. (7 de noviembre de 2019). Mincetur potencia experiencia turística en Morro de Calzada. <https://www.gob.pe/institucion/mincetur/noticias/68412-mincetur-potencia-experiencia-turistica-en-morro-de-calzada>
- SERFOR (2019). Normativa Forestal y de Fauna Silvestre (2.^a ed.). Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre. <http://repositorio.serfor.gob.pe/handle/SERFOR/802>
- SERFOR (2021). VISOR GEOSERFOR. Recuperado de <https://geo.serfor.gob.pe/visor/>
- Souza, C. M., Shimbo, J., Rosa, M. R., Parente, L. L., Alencar, A., Rudorff, B. F. T., Hasenack, H., Matsumoto M., Ferreira, L., Souza-Filho, P. W. M., Oliveira, S. W., Rocha, W. F., Fonseca, A. V., Marques, C. B., Diniz, C. G., Costa, D., Monteiro, Rosa, E. R., Vélez-Martin, E., Weber, E. J., Lenti, F. E. B., ..., Azevedo, T. (2020). Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat *Archive and Earth Engine. Remote Sensing*, 12(17), 2735. <https://doi.org/10.3390/rs12172735>
- Tong S., Pham T., Nguyen Q., Le T., Trinh L., Cao X., Ahmad A., Tong T. (2020). The Study Of Land Cover Change Using Change Vector Approach Integrated With Unsupervised Classification Method: A Case In Duy Tien (Vietnam). *Geography, Environment, Sustainability*, 13(2), 175-184. <https://doi.org/10.24057/2071-9388-2019-62>
- Touhami, I., Moutahir, H., Assoul, D., Bergaoui, K., Aouinti, H., Bellot, J. & Andreu, J. M. (2022). Multi-year monitoring land surface phenology in relation to climatic variables using MODIS-NDVI time-series in Mediterranean forest, Northeast Tunisia. *Acta Oecologica*, 114, 103804. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2021.103804>
- Tristan, P. M., Wainschenker, R. S. & Doorn, J. H. (2008). Normalización de imágenes satelitales en el análisis multi-temporal. *Red de Universidades con Carreras en Informática*, 315-319. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/20582>
- Vaudour, E., Gomez, C., Lagacherie, P., Loiseau, T., Baghdadi, N., Urbina-Salazar, D., Loubet, B. & Arrouays, D. (2021). Temporal mosaicking approaches of Sentinel-2 images for extending topsoil organic carbon content mapping in croplands. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 96, 102277. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2020.102277>

- Vega, A. (2022). *Análisis del índice normalizado de vegetación (NDVI) del bosque de protección Pagaibamba, Cajamarca Perú, 2016 - 2022* [Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte]. Repositorio de la Universidad Privada del Norte. <https://hdl.handle.net/11537/34150>
- Veneros, J., García, L., Morales, E., Gómez, V., Torres, M., & López-Morales, F. (2020). Aplicación de sensores remotos para el análisis de cobertura vegetal y cuerpos de agua. *Idesia (Arica)*, 38(4), 99-107. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292020000400099>
- Walther, G. R. (2010). Community and ecosystem responses to recent climate change. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, 365, 2019–2024. <https://10.1098/rstb.2010.0021>
- Yang, W. (2022). Monitoring of Land-Use/Land-Cover Change in the Peruvian Andes-Amazon based on Spatiotemporal Fusion of Multiple Satellite Data. *In AGU Fall Meeting Abstracts*, 2022, B41A-05.

CAPÍTULO VII

ANEXOS

Anexo 1. Reportes de incendios forestales en el Hábitat Crítico Morro de Calzada




REPORTE COMPLEMENTARIO N.º 5257 - 20/6/2023 / COEN - INDECI / 23:58 HORAS
(Reporte N° 1)

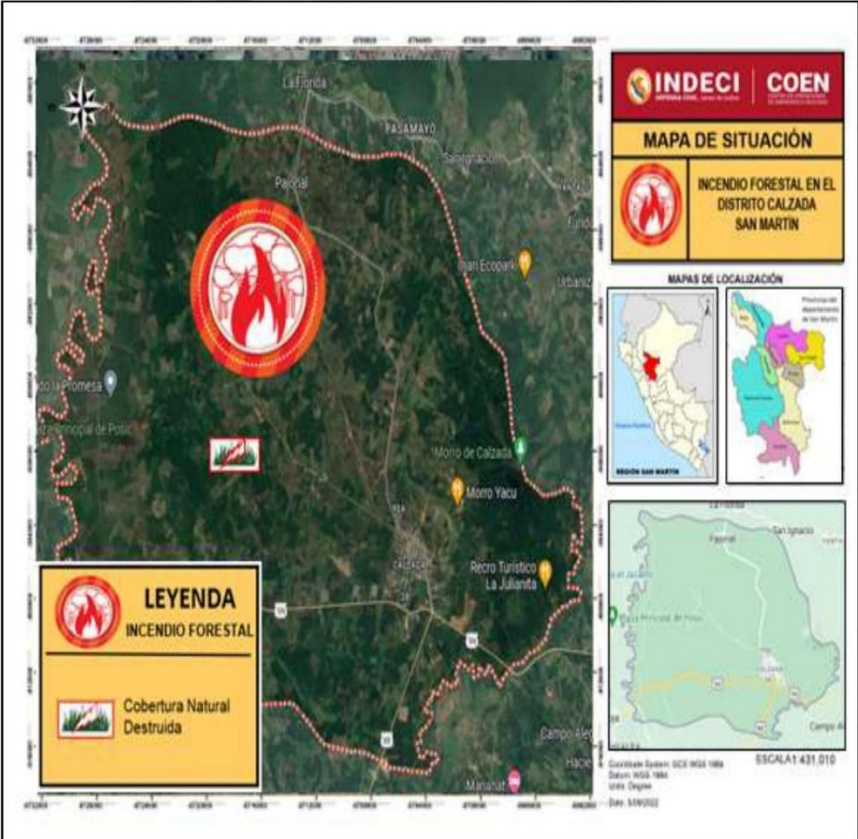
INCENDIO FORESTAL EN EL DISTRITO CALZADA – SAN MARTÍN

I. HECHOS:

El 19 de junio de 2023, a las 14:00 horas aproximadamente, debido a causas desconocidas se generó un incendio forestal, que afectó la cobertura natural en el cerro de Calzada, distrito de Calzada, provincia de Moyobamba.

II. UBICACIÓN:

DEPARTAMENTO	PROVINCIA	DISTRITO
SAN MARTÍN	MOYOBAMBA	CALZADA



Distribución: A los tres niveles de Gobierno (Nacional, Regional y Local).
CENTRO DE OPERACIONES DE EMERGENCIA NACIONAL
 Av. El Sol, Cdra. 4 - Chorrillos, Lima – Perú.
 Tel. +511 224-1685 • www.indeci.gob.pe
 Facebook: <https://www.facebook.com/COENPeru> • Twitter: <https://twitter.com/COENPeru>

Página 1 | 5

III. EVALUACIÓN DE DAÑOS:

Actualizado al 20 de junio del 2023, a las 23:58 horas.

UBICACIÓN	DAÑOS A SECTORES DIVERSOS
	PRODUCCIÓN AGRÍCOLA
	COBERTURA NATURAL DESTRUIDA (ha)
DPTO. SAN MARTÍN	
PROV. MOYOBAMBA	
DIST. CALZADA	5

Nota: Emergencia no registrada en el SINPAD.

Fuente: Centro de Operaciones de Emergencia Regional de San Martín.

IV. ACCIONES DE RESPUESTA Y REHABILITACIÓN:

Martes, 20 de junio de 2023

☒ **Regional**

GORE San Martín

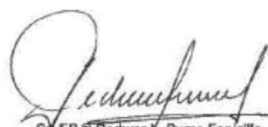
- ✓ El Centro de Operaciones de Emergencia Regional de San Martín, mediante su REPORTE PRELIMINAR N° 175-19/06/2023 - COER SAN MARTÍN – 18:00 Horas, informó que:
 - El jefe de la Oficina de Gestión de Riesgos de Desastres de la Municipalidad Distrital de Calzada se constituyó al lugar de los hechos a realizar la Evaluación de Daños y Análisis de Necesidades (EDAN-Perú).
 - El incendio fue controlado a las 16:00 hrs. aproximadamente por los trabajadores de la Municipalidad Distrital de Calzada, población de la zona y la Policía Nacional del Perú.
 - No se reportaron daños a la vida y salud de las personas.
- ✓ El Centro de Operaciones de Emergencia Nacional (COEN) continúa con el seguimiento de la emergencia.

V. FUENTE:

- Centro de Operaciones de Emergencia Regional de San Martín.

Chorrillos, 20 de junio de 2023

COEN – INDECI


Gen. EP Obedwar L. Puma Espirilla
Gestor Operativo del COEN
Instituto Nacional de Defensa Civil


Maj. Rafael José Díaz Díaz
Evaluador del Centro de Operaciones de Emergencia Nacional
Instituto Nacional de Defensa Civil

V.ºB.º


Gral. Brig. (r) Ricardo Rubén Hajares del Carpio
Coordinador del Centro de Operaciones de Emergencia Nacional
Instituto Nacional de Defensa Civil

Elaborado por: J. Herrera C.

ANEXOS:

1. Recursos de respuesta y rehabilitación.
2. Vista fotográfica.

ANEXO 1

RECURSOS DE RESPUESTA Y REHABILITACIÓN

1. AVANCE DE EJECUCIÓN PRESUPUESTAL:

Fecha de la Consulta: 20-junio-2023

Categoría Presupuestal 0068: REDUCCION DE VULNERABILIDAD Y ATENCION DE EMERGENCIAS POR DESASTRES

Nivel de Gobierno M: GOBIERNOS LOCALES

Gob.Loc./Mancom. M: MUNICIPALIDADES

Departamento 22: SAN MARTÍN

Provincia 2201: MOYOBAMBA

Municipalidad	PIA	PIM	Avance %
MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE CALZADA	2.546.659	3.876.232	23.5

Fuente: Ministerio de Economía y Finanzas.

ANEXO 2

VISTA FOTOGRAFICAS

20 JUN 2023



Incendio forestal en el distrito Calzada

Distribución: A los tres niveles de Gobierno (Nacional, Regional y Local).
CENTRO DE OPERACIONES DE EMERGENCIA NACIONAL
 Av. El Sol, Cdra. 4 - Chorrillos, Lima – Perú.
 Tel. +511 224-1685 • www.indeci.gob.pe
 Facebook: <https://www.facebook.com/COENPeru> • Twitter: <https://twitter.com/COENPeru>

Página 5 | 5



SOCIAL

Inescrupulosos incendian faldas del morro de Calzada

junio 20, 2023 / Diario Amanecer

Inescrupulosos incendian faldas del morro de Calzada. Afortunadamente bomberos y pobladores pudieron sofocar a tiempo el siniestro.

Moyobamba. Ayer en horas de la tarde se reportó un incendio forestal de gran proporción en una zona considerado como intangible en las faldas del Morro de Calzada, poniendo en peligro la flora y fauna, afortunadamente se logró controlar luego de unas horas, gracias a la presencia de los bomberos y con la ayuda de la población del distrito de Calzada.

Al parecer el incendio forestal fue provocado por alguna persona irresponsable que intentó quemar una chacra, a pesar que esta zona es considerada como un área intangible, hecho que causó preocupación en los pobladores, teniendo en cuenta que al momento del incidente corría un fuerte viento que fácilmente pudo extenderse por toda la falda del morro.

Los bomberos de Moyobamba recomendaron a las autoridades de la Autoridad Regional Ambiental y a la Fiscalía especializada en estos temas, a tomar acciones inmediatas para sancionar a las personas que provocan estos tipos de incendios forestales, afortunadamente se logró controlar a tiempo. (Diario Amanecer)

Etiquetas: [Moyobamba](#)

Moyobamba

Calzada

Jepelacio

Alto Mayo

Rioja

Nueva Cajamarca

Tarapoto

Lamas

24 de noviembre de 2024

INICIA SESIÓN

MNC

RADIO MOYOBAMBA

OFFLINE

PODCASTS

NOTICIAS

OPINIÓN

CONTÁCTENOS

¿DÓNDE QUEDA?

PUBLICIDAD

ARCHIVO DE NOTICIAS

CALZADA

Incendio forestal cerca al Morro de Calzada, colindante con el Distrito de Yantaló

Aún no se a dado con los responsables o responsable de tan lamentable escenario, solo se presume que el incendio pudo iniciarse por el quemado de un terreno para hacerse una chacra.

MNC Medios

Medio de Comunicación Digital

prensa@moyobamba.com

MNC MEDIOS

5 DE AGOSTO DE 2021

11:04 AM

El día de ayer **miércoles 4 de agosto del 2021**, se registro un lamentable **incendio en parte de la zona de protección del Morro de Calzada**, por el sector de **Yantaló**.

Hasta la actualización de esta nota no se sabe si el incendio a sido controlado al **100%**, sin embargo ha dejado **gran parte de la zona en cenizas**.

Además, desde el día de ayer **vienen solicitando apoyo través de la Compañía de Bomberos** se está convocando a las instituciones públicas y privadas así como a la sociedad civil para ayudar a mitigar este incendio.

57

Anexo 2. Base de datos del procesamiento y valores determinaos para los cálculos del NDVI, BSI, CVA.

➤ Bandas espectrales ➤ GDB ➤ Mapas ➤ Shapefile hábitat critico Morro de Calzada ➤ Excel: valores de los pixeles	https://drive.google.com/drive/folders/1X-f9JLTJ1VoUaERHZhChF4iM2YFLetZ?usp=sharing
---	---

Anexo 3. Panel fotográfico



Foto 1. Constatación de la expansión de suelo desnudo 2016-2023 en las coordenadas UTM Este: 272420, Norte: 9334999



Foto 2. Constatación de la expansión de suelo desnudo 2016-2023 en las coordenadas UTM Este: 272360, Norte: 9334920



Foto 3. Identificación de caminos que pueden facilitar la expansión de suelo desnudo cercano a las coordenadas UTM Este: 272360, Norte: 9334920



Foto 4. Constatación de la expansión de suelo desnudo 2016-2023 en las coordenadas UTM Este: 272863, Norte: 9335782



Foto 5. Constatación de la expansión de suelo desnudo 2016-2023 en las coordenadas UTM Este: 273318, Norte: 9336418

Anexo 4: Acrónimos y abreviaturas

ACR-CE	:	Área de Conservación Regional Cordillera Escalera.
BSI	:	Índice de Suelo Desnudo.
CVA	:	Análisis de cambio de vector.
DBSI	:	Índice de suelo desnudo seco.
dNBR	:	Índice de quema normalizada delta.
EVI	:	Índice de vegetación mejorado.
LULCC	:	Cambios en el uso y la cobertura del suelo.
NDSI	:	Índice de diferencia de suelo normalizado.
NDVI	:	Índice de vegetación de diferencia normalizada.
SERFOR	:	Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre.
SIG	:	Sistema de Información Geográfica.