

UNIVERSIDAD NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y EL MAR
ESCUELA DE CIENCIAS GEOGRÁFICAS

LICENCIATURA EN CIENCIAS GEOGRÁFICAS CON ÉNFASIS EN ORDENAMIENTO DEL
TERRITORIO

**APLICACIÓN DEL ALGORITMO BFAST COMO MÉTODO DE
ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ESPACIO TEMPORAL DE LA
COBERTURA TERRESTRE. CASO DE ESTUDIO:
REFUGIO NACIONAL DE VIDA SILVESTRE PEÑAS BLANCAS,
PERIODO 2009-2019.**

Trabajo final de graduación, en modalidad Tesis, sometido a consideración del Tribunal Examinador de la
Escuela de Ciencias Geográficas de la Universidad Nacional para optar al grado de Licenciatura en Ciencias
Geográficas con énfasis en Ordenamiento del Territorio

Shirley Méndez Cordonero

Heredia, Costa Rica

Agosto, 2024

MIEMBROS DEL TRIBUNAL EXAMINADOR

Trabajo de graduación aprobado por el Tribunal Examinador de la Escuela de Ciencias Geográficas de la Universidad Nacional, para optar al grado de Licenciatura en Ciencias Geográficas con énfasis en Ordenamiento del Territorio

.....
PhD. Mauricio Vega Araya

Representante del Decanato de Ciencias de la Tierra y el Mar

.....
M.Sc. Omar Barrantes Sotela

Representante de la Dirección de la Escuela de Ciencias Geográficas

.....
M.Sc. Bepsy Cedeño Montoya

Tutora

.....
M.Sc. Luis Sandoval Murillo
Asesor

.....
Lic. Christian Vargas Bolaños
Asesor

RESUMEN

En Costa Rica, los cambios en la cobertura de la tierra son causados en gran medida por actividades humanas que transforman el espacio geográfico, lo que genera consecuencias permanentes sobre el territorio. Estas transformaciones pueden provocar la pérdida de biodiversidad, la erosión del suelo y la expansión de la frontera agrícola, entre otros efectos. Por lo tanto, el estudio y monitoreo de la cobertura de la tierra resultan fundamentales para una gestión adecuada del territorio.

No obstante, este proceso de detección y caracterización de cambios en la cobertura de la tierra es complejo y arduo, por lo que, se han desarrollado nuevos algoritmos de detección, como el BFAST (Breaks For Additive Season and Trend), el cual permite analizar series temporales de un conjunto de datos satelitales para identificar patrones de cambio en la cobertura terrestre. En la presente investigación, se implementa el algoritmo BFAST para la identificación de cambios en la cobertura de la tierra en el Refugio Nacional de Vida Silvestre Peñas Blancas (RNVS-PB) durante el período 2009-2019.

La aplicación del algoritmo BFAST mostró una precisión general del 87.26% en la detección de pérdida de cobertura de la tierra, utilizando valores de NDVI. Asimismo, se evidencia que la dinámica de cambio en el RNVS-PB no es homogénea ni aleatoria, sino que está influenciada por actividades económicas, donde la actividad ganadera se destacó como el factor de cambio más significativo, representando el 73% de los puntos de cambio detectados. Además, aunque el cambio de cobertura en términos de superficie para toda el área de estudio fue relativamente bajo (1.4%, equivalente a 343 hectáreas), la pérdida de cobertura forestal tiene impactos significativos en procesos ecológicos como la fijación de carbono, la filtración y calidad del agua, la erosión del suelo y la pérdida de hábitat para la fauna local.

Por tanto, es esencial implementar un monitoreo continuo de estas áreas y desarrollar acuerdos para capacitar a la población en prácticas de ganadería regenerativa y en servicios de pagos ambientales. Asimismo, se debe considerar un enfoque dinámico y adaptativo para la zonificación y gestión del RNVS-PB, integrando activamente a la comunidad local y a las instituciones gubernamentales relevantes para abordar los desafíos identificados en este estudio.

TABLA DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN	11
1.1. Antecedentes	11
1.2. Justificación	16
1.3. Planteamiento del problema	19
1.4. Objetivos	23
1.4.1. <i>Objetivo General</i>	23
1.4.2. <i>Objetivos Específicos</i>	23
2. MARCO TEÓRICO	24
2.1. El concepto de coberturas de la tierra	25
2.2. Dinámica y factores de cambio de las coberturas y usos de la tierra ...	27
2.3. Ordenamiento territorial y los Planes Generales de Manejo	31
2.4. La Teledetección como técnica para el análisis de cobertura de la tierra.	34
2.5. El algoritmo Breaks For Additive Season and Trend (BFAST) como método de análisis de coberturas de la tierra.	35
3. MARCO METODOLÓGICO	38
3.1. Descripción del área de estudio	38
3.2. Tipo de investigación	40
3.2.1. <i>Enfoque metodológico</i>	40
3.2.2. <i>Fuentes de Información</i>	40
3.2.2.1. <i>Primarias</i>	40
3.2.2.2. <i>Secundarias</i>	41
3.3. Variables	41
3.3.1. <i>Variable 1: Cambios Espacio Temporales en la Cobertura de la Tierra del RNVS-PB</i>	42
3.3.2. <i>Variable 2: Factores asociados a los cambios en la cobertura de la tierra</i>	42
3.3.3. <i>Variable 3: Ordenamiento territorial vinculable a la zonificación de ASP</i>	43
3.4.1. <i>Generación de datos de cobertura de la tierra a partir de imágenes satelitales</i>	44
3.4.2. <i>Trabajo de Campo</i>	46
3.4.3. <i>Recolección y sistematización de documentos relacionados con ordenamiento territorial, y zonificación de ASP</i>	46
3.5.1. <i>Identificación de cambios espacio - temporales</i>	47
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	56
4.1. Cambios Espacio Temporales en la Cobertura de la Tierra del RNVS- PB	56
4.1.1. <i>Aplicación del algoritmo BFAST</i>	56
4.1.3. <i>Análisis estadístico y espacial de los valores de NDVI obtenidos de la herramienta BFAST GPU</i>	62
4.2. Factores asociados a los cambios en la cobertura de la tierra.	67
4.3. Recomendaciones de ordenamiento territorial vinculable a la	

zonificación de ASP	76
5. CONCLUSIONES	81
6. RECOMENDACIONES	83
7. LIMITACIONES.....	84
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	86
9. ANEXOS	95
Anexo 1	95
Anexo 2.....	95
Anexo 3.....	96
Anexo 4.....	96

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Causas próximas y subyacentes	28
Figura 2 Dinámica del proceso de cambio.	30
Figura 3. Marco legal principal que inciden en el Ordenamiento Ambiental del Territorio.	32
Figura 4. Etapas del diseño y formulación del PGM.	33
Figura 5. Componentes de la salida gráfica de la descomposición de series de tiempo utilizando el algoritmo BFAST.....	37
Figura 6. Ejemplos de factores causantes de cambio en la cobertura de la tierra.	43
Figura 7. Ejemplo de corrección de la serie temporal.....	48
Figura 8. Proceso metodológico aplicado a la variable identificación de cambios espacio – temporales en la cobertura de la tierra del RNVS-PB.....	52
Figura 9. Proceso metodológico aplicado a la variable determinación de factores asociados a los cambios espacio temporales experimentados en la cobertura de la tierra.	53
Figura 10. Proceso metodológico aplicado a la variable Integración de resultados para la generación de recomendaciones en términos de organización y distribución espacial de diferentes usos, actividades dentro del ASP.	55
Figura 11. Malla de puntos generada para la validación de productos..	57
Figura 12. Trabajo de campo: Puntos de observación.....	61
Figura 13. Refugio Nacional de Vida Silvestre Peñas Blancas: Ejemplo de cambios de bosque a pasto.	68
Figura 14. Refugio Nacional de Vida Silvestre Peñas Blancas: Ejemplo de cambios de crecimiento de infraestructura.....	70
Figura 15. Refugio Nacional de Vida Silvestre Peñas Blancas: Ejemplo de cambios asociadas a procesos naturales..	73
Figura 16. Cambios en la cobertura de pastos en los años 2018 y 2019..	75
Figura 17. Ejemplo del dinamismo en las áreas colindantes al norte del refugio..	80

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipología de las causas del cambio de coberturas de la tierra.....	29
Tabla 2. Usos de la tierra del RNVS-PB.....	39
Tabla 3. Especificaciones de las misiones Landsat 7 y 8.....	45
Tabla 4. Imágenes Landsat nivel 1.....	45
Tabla 5. Clasificación de los valores de NDVI.....	49
Tabla 6. Usos de la Tierra, RVS Peñas Blancas.....	50
Tabla 7. Material cartográfico empleado para la validación de productos.....	51
Tabla 8. Diseño general de la matriz de confusión..	51
Tabla 9. Zonificación basada en el uso del territorio del área protegida en Costa Rica.....	54
Tabla 10. Puntos de validación, según cobertura de la tierra.....	57
Tabla 11. Exactitud general de los productos, según valor de corte..	59
Tabla 12. Producto 12: Exactitud general..	59
Tabla 13. Parámetros para la generación del producto 12..	60
Tabla 14. Tipo de zona y localización propuesta para el RNVS-PB.....	77

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Promedio de valores de los primeros cinco productos generados.....	58
Gráfico 2. Matriz correlación entre variables de magnitud, tipo de cambio y temporalidad, según método.....	62
Gráfico 3. Comportamiento anual de la magnitud de cambio (2011-2019).....	63
Gráfico 4. Cantidad de puntos de cambio, según cantón..	64
Gráfico 5. Cantidad de puntos de cambio, según año..	65
Gráfico 6. Valores de NDVI del punto de verificación 10.1.....	69
Gráfico 7. Valores de NDVI del punto de verificación 13.....	70
Gráfico 8. Valores de NDVI del punto de verificación 17.....	71
Gráfico 9. Percepción sobre el factor principal de cambio de coberturas de la tierra en RNVS-PB, según entrevista a actores claves de la zona de Peñas Blancas, Esparza.	73

ÍNDICE DE MAPAS

Mapa 1. Información del Refugio Nacional de Vida Silvestre Peñas Blancas.....	38
Mapa 2. Áreas con mayor concentración de cambios de coberturas de la tierra ocurridos del 2017 al 2019.....	66
Mapa 3. Cambios abruptos principales de 2009 a 2019.....	67
Mapa 4. Inestabilidad de laderas para el área de Peñas Blancas.	72
Mapa 5. Puntos de cambios asociados a procesos naturales.	74
Mapa 6. Uso de la tierra para el área de Peñas Blancas.	78

LISTA DE ACRÓNIMOS

Listado en orden alfabético de los acrónimos utilizados en la presente investigación.

A

ACOPAC: Área de Conservación Pacífico Central

ASP: Área Silvestre Protegida

B

BFAST: Breaks For Additive Season and Trend

C

CeNAT: Centro Nacional de Alta Tecnología

CENIGA: Centro Nacional de Información Geo-ambiental

CNE: Comisión Nacional de Emergencia

E

EFM: Elementos Focales de Manejo

F

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

G

GEE: Google Earth Engine

I

INVU: Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo

L

LTS: Series Temporales Landsat (termino en inglés Landsat time-series)

M

MINAE: Ministerio Nacional de Ambiente y Energía

MOCUPP: Monitoreo de Cambio de Uso de Paisajes Productivos

MODIS: Espectrorradiómetro de imágenes de media resolución (término en inglés Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer)

N

NDVI: Índice de vegetación de diferencia normalizada.

NRMSE: Error Cuadrático Medio Residual Normalizado

O

OLS: Mínimos Cuadrados Ordinarios

OT: Ordenamiento Territorial

P

PGM: Plan General de Manejo

R

RNVS-PB: Refugio Nacional de Vida Silvestre Peñas Blancas

S

SEPAL: Sistema de acceso de datos de observación de la tierra, procesamiento y análisis para la vigilancia de la superficie terrestre

SIG: Sistemas de Información Geográfica

SIMOCUTE: Sistema Nacional de Monitoreo de Cobertura y Uso de la Tierra y Ecosistemas

SINAC: Sistema Nacional de Áreas de Conservación

SINIA: Sistema Nacional de Información Ambiental

SITS: Series de Tiempo de Imágenes Satelitales

U

UAV: Vehículo aéreo no tripulado

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

La teledetección o *remote sensing* (término en inglés) remonta sus orígenes a 1859 con las primeras fotografías aéreas tomadas desde un globo aerostático. Posteriormente, a partir de 1915 con el desarrollo de la primera cámara aérea, la disciplina es utilizada mayoritariamente para fines militares. En los siguientes años, con el lanzamiento de los satélites Sputnik en 1957, TRIOS-I en 1960 y Landsat-1 en 1972, este último el primer satélite diseñado para el estudio de la evolución de los recursos naturales, se generó una progresión notable en la disciplina (Chuvienco, 2002).

En la actualidad, la información obtenida mediante la detección remota es analizada en conjunto con los Sistemas de Información Geográfica (SIG), lo que permite estudiar la evolución de diferentes fenómenos mediante la automatización de los cambios en el territorio, utilizando secuencias de imágenes satelitales que comprenden un período amplio de tiempo. Hecho que da paso a la incorporación del factor tiempo en los estudios de teledetección espacial mediante técnicas de análisis multitemporal basados en series temporales procedentes de sensores remotos como Landsat y MODIS (Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer por sus siglas en inglés), entre otros; con los cuales se identifica la existencia o no de un cambio en la superficie, así como el momento exacto de su ocurrencia y el tipo de cambio (natural o antropogénico), (Coppin et al., 2004).

Actualmente, debido a la creciente generación de información espacial de acceso libre como las imágenes satelitales Landsat 8 y 9, se han desarrollado múltiples algoritmos novedosos para la detección de cambios basados en series temporales, tales como: LandTrendr, BFAST, VCT (Vegetation Change Tracker), CCDC (Continuous Change Detection and Classification), entre otros.

Dentro de las principales investigaciones a nivel internacional de la implementación del análisis temporal basado en series temporales para la detección de cambios en la cobertura de la tierra, destaca la de Verbesselt et al. (2010a) la cual consiste en el desarrollo de BFAST (Breaks For Additive Seasonal and Trend) un algoritmo diseñado para la descomposición de series temporales en tendencia, estacional y ruido, en la detección y caracterización de cambios espaciales y temporales, utilizando principalmente el NDVI. Los resultados obtenidos demostraron que BFAST detecta de manera sólida el cambio con diferentes

magnitudes (> 0.1 NDVI (Normalized Difference Vegetation Index por sus siglas en inglés)) dentro de series de tiempo con diferentes niveles de ruido ($0.01-0.07 \sigma$) y amplitudes estacionales ($0.1-0.5$ NDVI).

Zhu, por su parte en el 2017, clasifica al algoritmo BFAST en la categoría de métodos de límite estadístico, los cuales esperan que las series de tiempo sigan un límite estadístico y cualquier desviación significativa del límite se detecta como un cambio. Dicha catalogación del algoritmo BFAST la realiza en su estudio titulado “*Change detection using landsat time series: A review of frequencies, preprocessing, algorithms, and applications*”, en el cual divide a los algoritmos de detección de cambios en seis categorías, que incluyen umbral, diferenciación, segmentación, clasificación de trayectoria, límite estadístico y regresión para realizar una comparación descriptiva entre los mismos.

En cuanto a información científica referente a la implementación del algoritmo BFAST como método para la detección de cambios en la cobertura de la tierra, destacan los estudios elaborados por: Tsutsumida et al. (2013), Hutchinson, J. M et al. (2015), DeVries et al. (2015a), Dutrieux et al. (2016), Quevedo y Gao (2017), Gao et al. (2019), Esteban et al. (2019), Wu et al. (2020). Estos autores aplican el algoritmo para el monitoreo de la expansión urbana, cambios graduales y abruptos en las tierras de entrenamiento militar en un entorno de pastizales, detección de perturbaciones y recrecimiento posterior a la perturbación, reconstrucción de la historia del uso de la tierra, modelaje de la dinámica de la vegetación, detección de cortas en ecosistemas mediterráneos y la dinámica espacio-temporal de los bosques.

Es así como, a partir de los estudios consultados anteriormente, se hace notoria la aplicabilidad del algoritmo a diferentes escalas y latitudes en la detección de cambios espacio-temporales en las coberturas de la tierra. Asimismo, cabe mencionar que la mayoría de estos estudios son aplicados en coberturas forestales, esto debido al origen de diseño del algoritmo y la capacidad del mismo de identificar el momento y la ubicación de los cambios en la cobertura de la tierra a partir de conjuntos de datos espacio-temporales. No obstante, en estudios como los realizados por Gitas et al. (2012) se utiliza BFAST para el mapeo de áreas quemadas y monitoreo post-incendio, en la determinación de los cambios rápidos y graduales causados por el fuego en un ecosistema mediterráneo típico, ubicado al norte de Grecia. de la misma forma, estudios como los realizados en Brasil por Silva et al. (2019) y Souza et al.

(2019), asociados a la cobertura cafetalera, demuestran que el algoritmo también se utiliza en la detección de cambios en coberturas no forestales, dando resultados satisfactorios.

Por otra parte, en cuanto a estudios que validen la aplicabilidad del algoritmo sobresale el de Watts y Laffan (2014) en el cual se realiza una evaluación de la efectividad del algoritmo BFAST en la identificación de cambios de cobertura de la tierra en regiones semiáridas, donde la respuesta de la vegetación es típicamente estacional, siendo el área de estudio la cuenca de Paroo en el extremo noroeste de Nueva Gales del Sur, Australia. En esta investigación, se utilizaron imágenes del sensor MODIS que se descompusieron usando BFAST para 270 píxeles de muestra, con el fin de evaluar la capacidad del algoritmo para detectar cambios abruptos, dando resultados positivos en la detección de cambios abruptos en el reverdecimiento de la vegetación en regiones donde no se espera que la respuesta de la vegetación muestre fuertes patrones estacionales y podría usarse en otras aplicaciones como clasificación o modelado regional.

Para el año 2015, en Bolivia, Dutrieux et al. (2015) desarrollan una investigación cuya finalidad es la mejora del algoritmo BFAST mediante la evaluación del índice NDVI desde imágenes MODIS e Índice de Precipitación Estandarizado (SPI) como posibles regresiones externas. El estudio fue aplicado en un bosque tropical, donde se obtuvo un incremento en la precisión general en la detección de puntos de quiebre (cambios a lo largo de las series de tiempo) asociados a la pérdida de cobertura boscosa cuando se incluye MODIS como una regresión externa, se pasó del 83 % al 87 %.

Por su parte, DeVries et al. (2015b) realizan un estudio que se basa en analizar la idoneidad del método BFAST en la detección de perturbaciones forestales utilizando datos de series de tiempo de Landsat en una cobertura de bosque de montaña al suroeste de Etiopia, para el registro de perturbaciones forestales a pequeña escala bajo un enfoque de regresión logística ordinal (OLR). Siendo el principal resultado la obtención de una exactitud general del 78 % para las alteraciones con una precisión del usuario y del productor del 73 %.

En América del Sur, específicamente en Brasil, Oliveria et al. (2017) desarrollan un estudio donde se evalúa la aplicación de algoritmo en la detección de cambios en los usos de la tierra de la Región Noreste de Mato Grosso, Brasil, utilizando series temporales de NDVI para el periodo de 2000 al 2016. Asimismo, se evaluaron los efectos de la estacionalidad y el parámetro h (tamaño mínimo del segmento de serie temporal entre dos cambios potenciales).

Los resultados obtenidos demostraron la poca significancia del uso de diferentes parámetros de estacionalidad y la media NDVI en la efectividad del método lo que se atribuye al hecho de que el área se considera homogénea, tanto en sus características edáficas y climáticas, como en su composición espacial. Sin embargo, el algoritmo sí mostro una sensibilidad importante en cuanto a la determinación del valor del parámetro h, ya que cuando más baja es la H, mayor es la sensibilidad del método a pequeños cambios.

Otro estudio dentro de esta línea de investigación es el desarrollado por Ben et al. (2018) en el cual se compara sistemáticamente el potencial de los algoritmos que implementan los métodos de series de tiempo de imágenes satelitales (SITS) en la extracción de varios componentes de las series de tiempo no estacionarias para una mejor interpretación de variabilidad temporal. Para efectos de dicho estudio se compararon tres algoritmos STL, BFAST y MRA-WT, donde se evalúa su desempeño en el modelado, monitoreo y detección de cambios en la cubierta terrestre.

Adicionalmente, se considera a Zaraza-Aguilera y Manrique-Chacón (2019), quienes se basan en la generación una serie temporal con imágenes Landsat y una serie temporal con imágenes sintéticas Landsat-MODIS, con el fin de determinar cuál de los dos métodos proporciona los mejores resultados en la cuantificación de los cambios de las coberturas de la Sabana de Bogotá entre los años 2007 y 2013. Siendo los métodos comparados los siguientes: serie temporal con imágenes Landsat a través de BFAST, obtención de imágenes sintéticas por medio del algoritmo ESTARFM (Enhanced spatial and temporal adaptive reflectance fusion model) y serie temporal a través de BFAST incorporando imágenes sintéticas; como principal resultado obtienen la serie que incorpora las imágenes sintéticas e imágenes corregidas por líneas de ausencia de información, logrando esta manera los mejores índices de evaluación (fiabilidad global: 88,16 % y Kappa: 76,52 %) con respecto a la serie que incluye únicamente las imágenes Landsat.

En cuanto a estudios asociados a limitaciones de la implementación del algoritmo destacan la Lu y Hamunyela (2016), en su estudio para el monitoreo de la deforestación en un bosque tropical caducifolio en Bolivia, utilizan BFAST para la detección de perturbaciones forestales. Usualmente, dicho algoritmo transforma un índice de vegetación en bandas espectrales en espacio de características (por ejemplo, índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)), el cual se usa como entrada para el BFAST. Sin embargo,

dichos autores, encuentran como limitante la utilización del NDVI, debido a que es difícil separar la deforestación de múltiples efectos de estacionalidad, ruido y otras perturbaciones forestales. Esto lo resuelven reduciendo la dimensionalidad de las bandas espectrales, el espacio y el tiempo con métodos proyectivos, particularmente el análisis de componentes principales (PCA), lo que resulta en un nuevo índice que es más adecuado para el monitoreo de cambios.

Por su parte, Schultz et al. (2016) explican en su investigación algunas de las fuentes de error en la detección de deforestación utilizando el monitor BFAST en series de tiempo de Landsat. Dicho estudio se aplicó en los países de Brasil, Etiopía y Vietnam, se analizaron doce conjuntos de series temporales de datos de Landsat (2000-2013) de índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI). Las principales fuentes identificadas en la investigación fueron la corrección radiométrica y características específicas de las áreas de estudio. Asimismo, se implementaron procedimientos como la corrección atmosférica y reducción de turbidez 2 y 3 (ATCOR 2 y 3), sistema de procesamiento adaptativo de perturbaciones del ecosistema Landsat (LEDAPS) u Objeto oscuro Resta (DOS), esto para disminuir el error producido por dichas fuentes. Dentro de los principales resultados destaca que los parámetros importantes para caracterizar los errores de mapeo son la variación del NDVI y la señal del suelo, así como la disponibilidad de datos de series temporales y los efectos del borde del bosque.

Nghiem., Potter y Baiman para el 2019, realizan una investigación para la detección del cambio de la cubierta vegetal en las zonas de desarrollo de energía renovable del sur de California mediante el análisis de series de tiempo MODIS NDVI (2000 a 2018), utilizando tres índices de vegetación, la diferencia normalizada (NDVI), mejorada (EVI) y ajustada por el suelo (SAVI), esto mediante BFAST para estimar cambios significativos en las series de tiempo en la cubierta vegetal, desde febrero de 2000 hasta mayo de 2018. Los resultados de la investigación demostraron que NDVI es más sensible a factores como la precipitación local e incendios forestales. Por otra parte, los mayores cambios en los índices de vegetación están vinculados a las cantidades de precipitación anual estacional y total, así como a perturbaciones de origen antropogénico.

Actualmente, en esta línea de estudios, Watts y Laffan (2020) desarrollan una investigación para analizar la sensibilidad del algoritmo BFAST al satélite MODIS e índice

de vegetación tomando como área de estudio la región de Paroo del noroeste de Nueva Gales del Sur, Australia, en la cual se establecen 165 puntos de muestra elegidos que abarcan diferentes tipos de cobertura de la tierra en la región. Se evalúan los efectos causados por la selección del satélite, el NDVI y la variación del valor del parámetro h (controla el número potencial de rupturas de tendencia detectadas). Los resultados demuestran que el algoritmo presenta una sensibilidad moderada ante la variación de los tres aspectos mencionados, así como su interacción.

Finalmente, en lo que concierne a estudios que apliquen el algoritmo BFAST para el análisis de series temporales en Costa Rica, se toma como referente el estudio realizado por Smith et al. (2019), titulado “Assessing the accuracy of detected breaks in Landsat time series as predictors of small scale deforestation in tropical dry forests of Mexico and Costa Rica”, ya que fue el único estudio encontrado que implementa el algoritmo BFAST en el análisis de series temporales, lo que evidencia la poca implementación a nivel nacional de este tipo de metodologías en el monitoreo de coberturas de la tierra, así como de sus alteraciones.

En dicho estudio, se evalúa la precisión general del paquete espacial R, BFAST para detectar y monitorear la deforestación a pequeña escala en cuatro sitios ubicados en paisajes de bosques secos tropicales de México y Costa Rica, utilizando índices espectrales de verdor y humedad derivados de series de tiempo Landsat. Los resultados muestran un alto grado de acuerdo espacial (90 % –94 %) entre la distribución de claros de TDF (Tropical Dry Forest) ocurridos durante el período 2013–2016 (según lo indicado por Interpretación de imágenes VHR) y salidas espaciales BFAST, así como el hecho de que el NBR2 (Normalized Burn Ratio 2) fue el predictor más preciso de deforestación con una precisión general del 94.5 %. Dado su rendimiento, BFAST puede ayudar a controlar los puntos críticos de pérdida de TDF a pequeña escala en América Central y del Norte a bajo costo o sin costo, lo cual promueve y justifica la utilización de este tipo de procedimientos en el país, por lo que aplicar otro estudio que utilice el algoritmo BFAST en la detección de cambios de cobertura terrestre sería innovador, dado que permitiría explorar nuevas áreas de aplicación y metodologías que contribuyan al desarrollo de estrategias para la gestión de las ASP en Costa Rica.

1.2. Justificación

En Costa Rica, al igual que en el resto de los países, los cambios en la cobertura de la tierra se originan en su mayoría por las acciones del ser humano, las cuales transforman el

espacio geográfico; siendo en algunos casos transformaciones permanentes en el territorio, (Mas y Flamenco, 2011). Dado lo anterior, se presentan situaciones como: la pérdida de biodiversidad, erosión de los suelos, expansión de la frontera agrícola e inclusive el aumento de la emisión de gases de efecto invernadero, por lo que el estudio y monitoreo de la cobertura de la tierra resulta ser un aporte importante para la resolución de conflictos relacionados al ordenamiento del territorio y es considerado uno de los aspectos más importantes dentro del análisis físico biótico (Sepúlveda-Varas, Saavedra-Briones y Esse, 2019).

Teniendo en cuenta lo descrito anteriormente, es notoria la necesidad de renovación de técnicas y el aporte de otras disciplinas en el campo de la geomática para el procesamiento y gestión de grandes cantidades de imágenes satelitales que reduzcan los tiempos de ejecución y recursos destinados en comparación con los métodos tradicionales, para mejorar la calidad de los datos geospaciales y, consecuentemente, las investigaciones científicas relacionadas con el estudio de la cobertura de la tierra, generando así nuevos conceptos y metodologías en dicha rama de la geografía. La combinación entre geomática y la ciencia de datos abre nuevas oportunidades de investigación a la geografía, al brindar datos detallados, actuales y a bajo coste, hace posible un entendimiento mucho más sofisticado, de grano fino, de los fenómenos espaciales. Esto permite que se pase de estudios con escasez de datos a estudios con abundancia de datos y de instantáneas a análisis dinámicos (Gutiérrez Puebla, 2018).

Por tales razones, y dada la complejidad que implica el estudio de la dinámica de cambio, la presente investigación se aplicará el algoritmo BFAST en la identificación de cambios de cobertura de la tierra en el contexto costarricense. El método surgió como respuesta ante el volumen gradual y el formato variable de los datos masivos geospaciales recolectados por sensores remotos, lo que plantea actualmente desafíos adicionales en cuanto al almacenamiento, gestión, procesamiento, análisis, visualización y verificación de datos en distintas ramas de las ciencias geográficas.

Actualmente BFAST es uno de los algoritmos más implementados en diferentes escalas y temáticas, dado que permite la clasificación de diferentes tipos de cambios; los cambios que ocurren en el componente de tendencia, a menudo, indican alteraciones (por ejemplo, incendios, ataques de insectos), mientras que si ocurren en el componente estacional

indican cambios fenológicos (por ejemplo, cambio en el tipo de cobertura de la tierra). (Verbesselt et al., 2010a). Además, a partir de este se extraen detalles temporales disponibles en series temporales de imágenes satelitales para examinar patrones de respuesta de la cubierta, como lo es la temporalidad exacta del cambio abrupto, lo que enriquece el análisis en dichos estudios e incluso fomenta su utilización en el monitoreo de coberturas de la tierra como un sistema de alarma para marcar cuándo y dónde ocurren los cambios, permitiendo el monitoreo de procesos espacio-temporales, prácticamente en tiempo real.

El desarrollo de ese tipo de algoritmos un aspecto esencial para la renovación de metodologías asociadas al estudio de cambios en la cobertura de la tierra, donde se incorpore el procesamiento y análisis de datos geospaciales masivos en la detección y caracterización del cambio a lo largo del tiempo para identificar el conductor del cambio y analizar la dinámica del mismo. Lo anterior es de suma importancia para instituciones a nivel nacional como la Red Nacional de Información Ambiental del Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA), específicamente el Sistema Nacional de Monitoreo de Cobertura y Uso de la Tierra y Ecosistemas (SIMOCUTE), dada la compatibilidad del funcionamiento de dichos algoritmos y la metodología empleada por esta institución en cuanto al monitoreo de las dinámicas de cambio en las coberturas de la tierra que consiste en un muestreo basado en la implementación de una malla con parcelas distribuidas sistemáticamente a través del territorio, con la que se logra alcanzar altos niveles de precisión, en la medición de eventos de cambio infrecuentes que no se puede detectar fácilmente, (Ministerio Nacional de Ambiente y Energía, 2017). Lo que incentiva aún más la utilización de dicho algoritmo en el país.

La aplicación del algoritmo BFAST en Costa Rica, mediante esta investigación, permitiría iniciar un proceso de validación de la metodología, para luego ser replicado a escala nacional por investigadores y tomadores de decisión. Cabe destacar que, hasta la fecha, la aplicación de este algoritmo en específico, a escala nacional, cuenta con un solo caso documentado, lo que subraya la necesidad de estudios adicionales para consolidar su uso en la gestión y monitoreo de cambios de cobertura en el país. Por su parte, la selección del Refugio Nacional de Vida Silvestre Peñas Blancas como caso de estudio se da en vista de la necesidad por parte de la municipalidad de Esparza de iniciar con el proceso de recolección y generación de información base para la formulación de un eventual Plan General de Manejo

(PGM) de dicha Área Silvestre Protegida (ASP), dado que este es el instrumento técnico legal de planificación territorial que rigen en este tipo de territorios, al definir las estrategias que deben seguir el personal del ASP y sus aliados para ejecutar de forma exitosa su gestión y planificación (Sistema Nacional de Áreas de Conservación, 2016).

Es importante mencionar que dicha municipalidad cuenta con experiencia en procesos de planificación similares, por ejemplo, la formulación e implementación del PGM de la Zona Protectora Tivives. y el Plan Regulador del cantón de Esparza, este último mediante el convenio entre la Municipalidad de Esparza y la Escuela de Ciencias Geográficas de la Universidad Nacional, relación que facilita la comunicación y recolección de información necesaria para la elaboración de la presente investigación, así como la identificación de actores claves dentro del ASP, ya que como menciona Granados (2017), la planificación en las ASP no puede verse como un proceso aislado de la dinámica que a estas áreas le rodea. De esta manera, se justifica tanto de manera teórica como práctica la realización del presente trabajo final de graduación.

1.3. Planteamiento del problema

Como se evidencia en los antecedentes, existen diferentes métodos y técnicas para detectar y analizar los cambios que se producen en la cobertura de la tierra, todos con alcances, limitaciones y fortalezas distintas. En Costa Rica el estudio de los cambios en la cobertura de la tierra se realiza por medio de la implementación de distintos procesos de teledetección asociados al tratamiento de la información remota adquirida de las imágenes satelitales, basados, tradicionalmente, en la aplicación de algoritmos de clasificación, ya sea de forma supervisada o no supervisada. Siendo en el país lo más recurrente la aplicación de clasificación supervisada por medio de algoritmos como: *Máxima Verosimilitud*, *Redes Neuronales*, *Mínima Distancia* y *Paramétrico* (Vargas-Sanabria & Campos-Vargas, 2018).

De manera estandarizada los procesos de clasificación supervisada se basan en las siguientes etapas: segmentación de la imagen, procedimiento de muestreo, chequeo de separabilidad de datos, separación de muestras, creación del clasificador o combinación de algoritmos de clasificación, obtención de datos validados clasificados, validación general, matriz de confusión o de contingencia resultante y, finalmente, el indicador de concordancia, (Huth et al. 2012). Asimismo, investigaciones como las realizadas por Benavides-Varela, Samper-Villarreal y Cortés (2016); Barrantes-Sotela, y Sandoval-Murillo (2016), son

ejemplos de aplicación de dichos algoritmos en el estudio de la dinámica de la cobertura de la tierra del país.

Por otra parte, estudios como el realizado por (Vargas-Sanabria y Campos-Vargas, 2018), respalda la utilización del algoritmo *Máxima Verosimilitud (Maximum Likelihood)*. En este estudio se compara la presión de distintos algoritmos de clasificación para el monitoreo de coberturas de la tierra asociadas al bosque seco tropical del Área de Conservación Guanacaste, donde se obtiene que dicho algoritmo presenta un 81.11 % de precisión en la clasificación, siendo este el más preciso de los algoritmos empleados.

Asimismo, es necesario mencionar que para el estudio de cambios de la cobertura de la tierra se debe implementar el factor tiempo, esto debido a que dicha transformación del paisaje no es estática, por tales motivos a nivel nacional las investigaciones en esta línea proceden a implementar la clasificación multitemporal para la detección de cambios entre diferentes fechas, procesando de manera individual cada imagen, para luego identificar los cambios realizando una intersección o comparación de las clasificaciones obtenidas en los distintos periodos. Donde se generan productos como: matrices, que indican cambios en reducción o incremento del área de cada cobertura de la tierra, tablas multitemporales de cambios, mapas de transición, entre otros; lo que permite observar, no solo las zonas de cambio sino también para identificar el tipo de cambio de categoría de un periodo a otro y obtener valores de ganancia o pérdida de coberturas de la tierra, tal es el caso de estudios como el realizado por Emanuelli., Milla y Duarte (2014).

Otra técnica empleada para la detección de transformaciones en las coberturas de la tierra en el país es la fotointerpretación, proceso que se basa en la utilización de fotografías áreas para la extracción e información espacial, en este caso específico información asociada a las coberturas de la tierra, posteriormente se procede a su comparación en distintos intervalos de tiempo, observando así las modificaciones presentes en las distintas coberturas. Ejemplo de esto son las investigaciones realizadas por Cordero-Montoya., Acevedo-Mairena y Calvo-Alvarado (2012); Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (2012) y Acuña-Piedra & Quesada-Román (2017).

No obstante, los métodos de clasificación supervisada y fotointerpretación son ampliamente aceptados por la comunidad científica y empleados en múltiples estudios relacionados con las coberturas de la tierra, estos presentan limitaciones importantes. En el

caso de la fotointerpretación la desventaja más relevante es el grado de conocimiento del fotointérprete. Por su parte, el proceso de clasificación supervisada está condicionada principalmente en el conocimiento a priori del área de estudio, esto para la correcta definición de áreas de entrenamiento; y las características del algoritmo de clasificación. Por ejemplo, algoritmo *Máxima Verosimilitud*, el hecho de que asuma una distribución normal de las categorías es una de las limitaciones más relevantes, ya que, al interpretar la información espectral píxel a píxel, utiliza poco de toda la información contenida en la imagen, lo cual propicia que a grandes escalas en algunas ocasiones no represente el comportamiento de las coberturas de la tierra de manera adecuada. (Vargas-Sanabria y Campos-Vargas, 2018). Asimismo, cabe mencionar que una limitante común entre los métodos de clasificación supervisada y la fotointerpretación es la deficiencia en cuanto al procesamiento de información espacial de forma masiva y automatizada, lo que genera una renovación en cuanto enfoques, métodos, técnicas e incluso tecnologías geoespaciales y softwares para la captura, almacenamiento, tratamiento y análisis de datos espaciales.

Por otro lado, y posiblemente en respuesta a estas limitantes, actualmente se desarrollan algoritmos diseñados para la detección de cambios basados en series temporales, lo cuales permiten el desarrollo de métodos automatizados para la detección de cambios en la cobertura de la tierra que se basan en algoritmos cuyo enfoque es la no variabilidad del objeto, y el contraste espacial de estas estructuras con los pixeles vecinos (Miller, 2017).

El algoritmo BFAST es un ejemplo de este tipo de métodos (Verbesselt et al., 2010a), el cual ha sido aplicado a varias escalas y temáticas, así como en distintas latitudes. Este se basa en la descomposición de series temporales en tendencia, estacional y ruido, en la detección y caracterización de cambios espaciales y temporales, tomando como partida periodo histórico y uno de monitoreo donde el periodo histórico es el intervalo de tiempo utilizado para ajustar un modelo de regresión, mientras que el de monitoreo es aquel en el que se detectan los cambios (Esteban et al, 2019).

Los resultados de múltiples estudios demuestran la efectividad de este método en la detección y análisis del patrón espacio – temporal de los cambios de la cobertura de la tierra, donde en la mayoría de los estudios donde se aplica supera el 70 % de exactitud general, asimismo, debido a que el algoritmo es diseñado en base a series temporales robustas, se genera una secuencia en tiempo real de la dinámica de variación que ha tenido el punto de

muestra a lo largo de la serie temporal, lo que da como resultado una interpretación más integral de la complejidad de la dinámica de la superficie de la Tierra. Por otra parte, el mismo también presenta limitaciones como la sensibilidad en la determinación del valor del parámetro h (controla el número potencial de rupturas de tendencia detectadas), (Lu y Hamunyela, 2016).

En este sentido el presente estudio tiene como objetivo aplicar el algoritmo BFAST a un estudio de caso, con el propósito de evaluar su aplicabilidad en el territorio nacional. Para esto se seleccionó el Refugio Nacional de Vida Silvestre Peñas Blancas. Las interrogantes que guían la investigación son las siguientes: ¿Cuáles son las coberturas de la tierra que han experimentado una mayor transformación durante el periodo del 2009 al 2019? y ¿Cuáles serían los posibles factores detonantes de estos cambios? Donde la selección del periodo de 10 años se fundamenta en que un período de tiempo amplio como este permite identificar tendencias significativas y variaciones estacionales que podrían no ser evidentes en periodos más cortos. Además, abarcar una década proporciona una perspectiva robusta sobre los impactos acumulativos de factores biofísicos, climáticos y antropogénicos en las coberturas de la tierra, facilitando así, proporcionando una visión integral de la dinámica ambiental en esta área protegida.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

- Analizar los cambios espacio temporales de las coberturas de la tierra en el Refugio Nacional de Vida Silvestre Peñas Blancas, durante el periodo 2009-2019, mediante la aplicación del algoritmo BFAST, para la generación de insumos a la Municipalidad de Esparza en el diseño de un Plan General de Manejo de esa Área Silvestre Protegida

1.4.2. Objetivos Específicos

- Identificar puntos de quiebre dentro de la serie temporal, mediante el algoritmo BFAST, para la generación de datos estadísticos y material cartográfico asociado a la dinámica espacio- temporal de los cambios en la cobertura de la tierra.
- Determinar los factores asociados a los cambios espacio temporales determinados, a través de la consulta de fuentes bibliográficas y trabajo de campo, para la interpretación y análisis integral del patrón de comportamiento de las coberturas de la tierra en el área de estudio.
- Formular recomendaciones de ordenamiento territorial que se adecuen a la realidad del Refugio Nacional de Vida Silvestre Peñas Blancas, mediante el análisis de los resultados obtenidos, para la generación de insumos que sirvan de referencia en el futuro diseño del Plan General de Manejo del Área Silvestre Protegida

2. MARCO TEÓRICO

La presente investigación parte del paradigma cuantitativo, el cual experimenta transformaciones debido al avance tecnológico y la circulación de datos geográficos masivos, dando como resultado el desarrollo de nuevas corrientes geográficas. Evidencia de lo anterior, es el surgimiento de la geografía automatizada, impulsada por J.E. Dobson en 1983, considerada como una “revalorización de la geografía cuantitativa en el ambiente computacional, en el que la realidad se transforma en un modelo digital de tratamiento y de análisis” (Buzai, 2012, p. 16). En este sentido, los conceptos y la praxis desarrollados en la presente investigación constituyen una base teórica y metodológica desde la geografía automatizada.

El avance tecnológico en la geografía cuantitativa como la cartografía digital, gráficos por computadora, teledetección digital, sistemas de información geográfica, las estadísticas y el modelado espaciales, produjo una modificación en los métodos y técnicas de adquisición, procesamiento y análisis de datos espaciales, permitiendo abordar problemas geográficos que son demasiado grandes y complejos para el tratamiento manual por sí solo, dando inicio a la transición hacia la automatización de procesos geográficos, lo que resultaría posteriormente en un crecimiento continuo de la disciplina. No obstante, como menciona Dobson (1983, citado en Buzai, 2012), la geografía automatizada no es conceptualmente diferente de las formas más tradicionales de geografía, la diferencia radica en que esta implica una “fuerte dependencia de hardware y software de alta tecnología, pero la atención se centrará en la resolución de problemas geográficos, más que en el desarrollo, la demostración y la aplicación de técnicas individuales” (p. 46).

Para Dobson, como propulsor del paradigma de la geografía automatizada, esta se enfoca en la determinación de sistemas integrados para representar propiedades espaciales, explicar fenómenos geográficos y resolver problemas geográficos, se eligen los métodos y herramientas apropiadas de un amplio repertorio de técnicas automáticas y manuales. Sin embargo, como menciona este mismo autor algunos aspectos negativos son “la posibilidad de pérdida de rigor teórico empañado por el alto potencial técnico y las limitaciones que pueden surgir al tener que orientar una investigación hacia la utilización de métodos fácilmente automatizables” (Dobson, 1983 a,b, citado en Buzai, 2012, p. 46).

2.1. El concepto de coberturas de la tierra

Di Gregorio (2005) define coberturas de la tierra como “cobertura biofísica que se observa sobre la superficie terrestre, donde no solamente se describe la vegetación y los elementos antrópicos existentes sobre la tierra, sino que también se describen otras superficies terrestres, como afloramientos rocosos y cuerpos de agua” (p. 3).

Es decir, se comprende como cobertura de la tierra a la clasificación de la superficie según los objetos abióticos o bióticos observados en esta. Por su parte, Costa Rica, a través del Sistema Nacional de Monitoreo de Cobertura y Uso de la Tierra y Ecosistemas (SIMOCUTE, 2019), ente oficial de información en materia de cobertura y uso de la tierra y ecosistemas a nivel nacional, define dicho término como la cubierta de elementos bióticos y abióticos presente en un sitio (p. ej.: árboles, arbustos, agua, pavimento, techos, entre otras), que no requiere análisis de contexto o inferencia del entorno.

Asimismo, en cuanto al estudio del dinamismo de la cobertura de la tierra en Costa Rica, se toma como punto de partida la cuantificación del proceso de deforestación y de la extensión de la cubierta forestal en los años ochenta, donde el país presentó datos preocupantes, como una tasa de deforestación de 2.9 % por año a fines de la década de 1980, el quinto más alto del mundo, (FAO, 1999, como se citó en Sánchez-Azofeifa, 2000), datos que según diversos autores se debían al proceso acelerado de la expansión agrícola y urbana, producto de los modelos productivistas sin planificación, como fue el incentivo crediticio a la ganadería (Bertsch, 2006). Ante esta situación, el país, a principios de los años noventa, diseñó estrategias de índole ambiental que fomentan la recuperación de cobertura forestal, generando resultados alentadores en los años siguientes en el proceso de reversión de los ritmos de deforestación.

Dentro de los estudios que sobresalen en esta línea de investigación, destacan el Inventario de Recursos Naturales en Costa Rica desarrollado por el gobierno costarricense y la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID). Para los años noventa la realización de este tipo de estudios extrapolación y diferentes entidades públicas empiezan a generar sus propios estudios, tal es el caso del Instituto Meteorológico Nacional (IMN) que produjo para 1994, dos mapas de cobertura de la tierra utilizando como referencia los años 1979 y 1992, así como en los años 2000, 2012, 2017 y 2019 como parte de las tareas del Inventario Nacional de GEI (Gases de Efecto Invernadero). En esa misma línea, a finales

de la década de los noventa sobresale el estudio del Centro de Desarrollo Sostenible, 1998, el cual se convirtió en un referente para posteriores estudios debido a la implementación de la metodología desarrollada por el Proyecto Pathfinder de la NASA, (Sánchez-Azofeifa, 2000).

Actualmente, se han logrado avances importantes en la aplicación de herramientas de teledetección para abordar preguntas relacionadas a la biología de la conservación, la deforestación, el uso y cobertura de la tierra del suelo. Sobresalen entidades estatales como el Centro Nacional de Información Geo-ambiental (CENIGA), Sistema Nacional de Monitoreo de la Cobertura y Uso de la Tierra y Ecosistemas (SIMOCUTE), Monitoreo de Cambio de Uso de Paisajes Productivos (MOCUPP) y la Leyenda Corine Land Cover - CR para la generación de mapas de uso y cobertura de la tierra de Costa Rica, logrando progresos en cuanto a la homogenización de metodologías y conceptos en materia de coberturas y usos de la tierra.

Asimismo, el desarrollo tecnológico y a la gran cantidad de misiones espaciales que utilizan sensores remotos para la generación de imágenes satelitales, refiriéndonos a estas como una representación gráfica, captadas por sensores remotos instalados en satélites para la detección y registro de la energía electromagnética han generado un incremento exponencial en el flujo de información geográfica, propiciando problemáticas relacionadas con la gestión de datos masivos en diferentes ramas de la geografía, situación a la que no es ajena los estudios asociados a las coberturas de la tierra, desarrollados tanto a nivel nacional como internacional.

Ante tal problemática, a nivel mundial se han renovado y actualizado tanto métodos como técnicas vinculadas con la detección de cambios en la cobertura de la tierra, y otras temáticas, utilizando datos espaciales masivos. Un ejemplo de esto es la actualización en cuanto al estudio de series temporales, definidas por Carrión - García (2001) como “sucesiones de valores referidos a una misma variable y correspondientes a distintos instantes de tiempo” (p. 6). La utilización de series temporales por múltiples disciplinas para la identificación, evaluación y monitoreo de las transformaciones espacio-temporales que suceden en la cobertura de la tierra, ha generado una proliferación en cuanto al desarrollo de algoritmos para la detección de cambios y así mismo una versatilidad de su aplicabilidad.

De esta manera, la definición de cobertura de la tierra, como se ha explorado, no solo

abarca la descripción de la vegetación y elementos antrópicos, sino también otras superficies terrestres, como afloramientos rocosos y cuerpos de agua. En Costa Rica, esta definición ha sido fundamental para comprender y cuantificar los procesos de deforestación y expansión del área forestal. Los avances en teledetección y el aumento de los flujos de información geográfica han mejorado la capacidad para monitorear y explorar estas áreas. Sin embargo, comprender estos datos y aplicar herramientas técnicas requiere un análisis detallado de los factores que influyen en la cobertura de la tierra y el cambio de uso del suelo. continuación, examinaremos estos factores, los cuales incluyen tanto elementos naturales como intervenciones humanas que han transformado el paisaje a lo largo de los años.

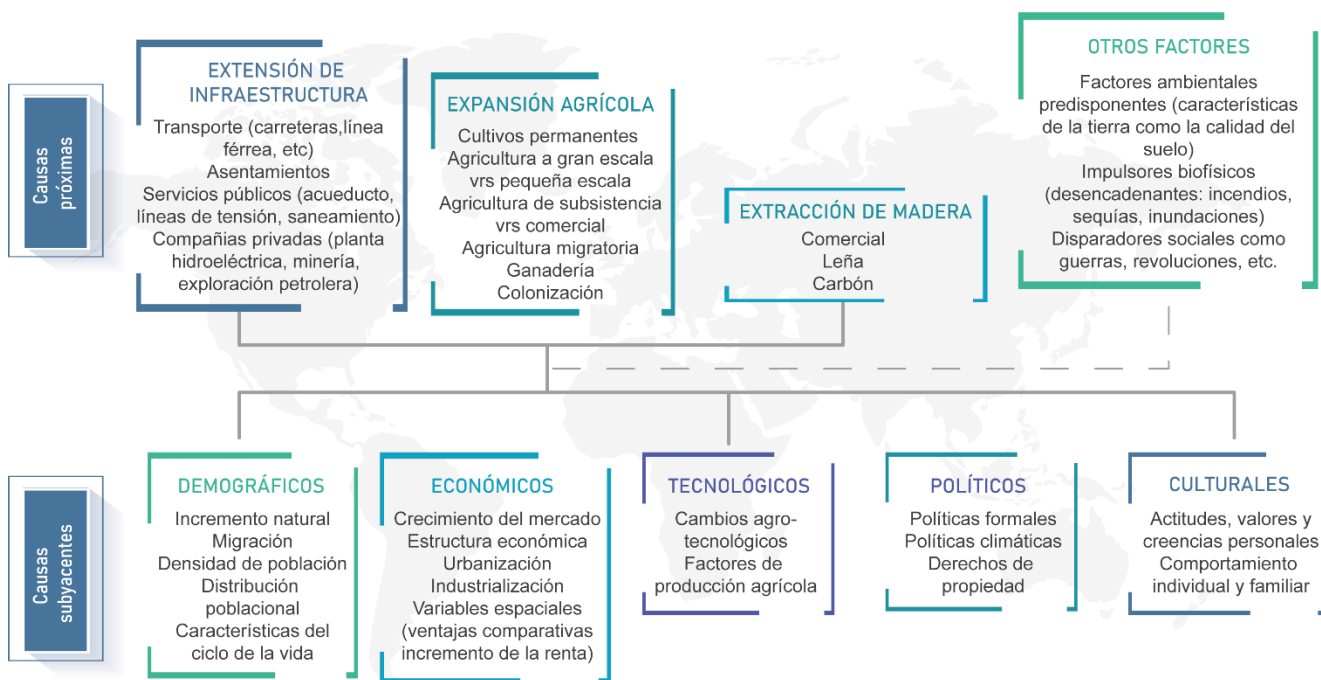
2.2. Dinámica y factores de cambio de las coberturas y usos de la tierra

A lo largo de la historia las coberturas de la tierra han experimentado diversos tipos de cambios, sin embargo, uno de los períodos con más impacto sobre estas se remonta a finales del siglo XX y principios del siglo XXI, dada la transformación en el modelo productivo de alimentos el cual opto por la intensificación de la producción en las tierras de cultivo existentes, en lugar de la expansión de las tierras de cultivo (Lambin et al., 2001), procesos que se aceleraron a escala mundial. Lo que, a su vez, derivó en problemáticas ambientales como, por ejemplo, la contaminación por nitrógeno de las vías fluviales por medio del usos excesivo y descontrolado de fertilizantes. Es por esto, que resulta complejo explicar los cambios de cobertura de la tierra, dado que se deben considerar múltiples factores que generan dichos cambios

Por tales motivos, Lambin et al. (2001) determinan que el uso de la tierra es la suma de las causas próximas del cambio de la cobertura de la tierra, es decir, la modificación intencionada de la cobertura para el desarrollo de actividades humanas. Asimismo, dichos autores también establecen una clasificación de factores generales causantes del cambio de la cubierta terrestre, agrupándolos en factores biofísicos, económicos y tecnológicos, demográficos, institucionales y culturales. Además, consideran la conexión de dichos factores como cadenas causales, es decir, la interconectividad de los factores que impulsan la dinámica de la cobertura y/o usos de la tierra, de tal manera, que una o varias variables (causas subyacentes, como la estructura económica) impulsen una o varias otras causas (causas próximas, como la expansión agrícola), (Figura 1).

Figura 1

Causas próximas y subyacentes



Nota. Adaptado de Lambin et al, 2001.

Asimismo, las transformaciones en la cubierta terrestre de acuerdo con una escala temporal también se pueden clasificar de forma general en procesos evolutivos rápidos que son abruptos y ocurren como perturbaciones que afectan al sistema terrestre de repente o lentos que cambian gradualmente. en una escala de tiempo de décadas o más, tal y como lo establecen Lambin et al. (2001), (Tabla 1). Además, dichos autores también destacan que las causas endógenas como la escasez de recursos, el aumento de la vulnerabilidad y los cambios en la organización social; son los principales detonantes de los cambios en cubierta terrestres. Considerando, de igual manera, que dichas causas pueden estar influenciadas por factores exógenos.

Tabla 1

Tipología de las causas del cambio de coberturas de la tierra

	Escasez de recurso que genera presión en la producción de recursos	Oportunidades cambiantes creadas por los mercados	Intervención de políticas externas	Pérdida de capacidad adaptativa y mayor vulnerabilidad	Cambios en la organización social, en el acceso a los recursos y en las actitudes
LENTO	<p>Crecimiento natural de la población y división de la tierra</p> <p>Ciclos de vida domésticos que conducen a cambios en la disponibilidad laboral</p> <p>Pérdida de productividad de la tierra en áreas sensibles por uso excesivo o inadecuado</p> <p>No restaurar o mantener obras de protección de los recursos ambientales</p> <p>Extracción de excedentes del administrador de la tierra</p>	<p>Incremento de la comercialización y la agro-industrialización</p> <p>Mejora de la accesibilidad mediante la construcción de carreteras</p> <p>Cambios en los precios de mercado</p> <p>Salarios no agrícolas y oportunidades de empleo</p>	<p>Programas de desarrollo económico</p> <p>Subsidios perversos políticas inclusivas, distorsiones de precios e incentivos fiscales</p> <p>Desarrollo de frontera</p> <p>Mala gobernanza y corrupción</p> <p>Inseguridad en la tenencia de la tierra</p>	<p>Empobrecimiento</p> <p>Desglose de las redes informales de seguridad social</p> <p>Dependencia de recursos externos o asistencia</p> <p>Discriminación social</p>	<p>Cambios en las instituciones que gobiernan el acceso a los recursos por parte de diferentes administradores de tierras</p> <p>Crecimiento de aspiraciones urbanas</p> <p>Desglose de la familia extensa</p> <p>Crecimiento del individualismo y el materialismo</p> <p>Falta de educación pública y escaso flujo de información sobre el medio ambiente</p>
RÁPIDO	<p>Migración espontánea, desplazamiento forzado de población, refugiados, etc.</p> <p>Disminución de la disponibilidad de tierras debido a la invasión de otros usos de la tierra (reservas naturales)</p>	<p>Inversiones de capital</p> <p>Cambios en las condiciones macroeconómicas y comerciales nacionales o globales que conducen a cambios en los precios</p> <p>Nuevas tecnologías para la intensificación del uso de recursos</p>	<p>Cambios rápidos de políticas</p> <p>Inestabilidad del gobierno</p> <p>Guerras</p>	<p>Conflictos internos</p> <p>Enfermedad</p> <p>Riesgos asociados con peligros naturales</p>	<p>Pérdida de derechos a los recursos ambientales, que conducen a una migración ecológica de los pobres</p>

Nota. Adaptado de Lambin et al, 2001.

Otra investigación destacada en la determinación de factores causante del cambio en las coberturas de la tierra es la de Paruelo et al. (2006), quienes establecen que las transformaciones en la cubierta terrestre constituyen una de las principales dimensiones del fenómeno conocido como cambio ambiental global. Considerando de esta manera, al cambio en las coberturas o/y usos de la tierra como una consecuencia ambiental que exceden el ámbito local o regional y se manifiestan a escala global, lo que aumenta la complejidad de los estudios sobre los cambios de las cubiertas terrestres. Por ejemplo, las consecuencias económicas y ambientales de la expansión agrícola se le añaden las consecuencias sociales, todas estrechamente ligadas. Por tales, motivos, clasifican a los factores propulsores del cambio en la cubierta terrestre como humanos o biofísicos, considerando la dimensión social, económica, política y ambiental (Figura 2).

Figura 2

Dinámica del proceso de cambio



Nota. Adaptado de Paruelo et al, 2006.

De esta forma, se manifiesta una similitud en los estudios de cambios en la cubierta terrestre, que es la clasificación general de los factores detonantes del cambio en directos e indirectos, ya que como mencionan Cabido et al. (2005) el proceso de cambio en el uso y cobertura de la tierra es complejo, dichos cambios implican la interacción de numerosos factores y estos cambios afectan directamente la abundancia de plantas y animales en los remanentes del hábitat fragmentado, por lo que el proceso de transformación es un factor directo de los cambios en la biodiversidad, tal y como lo menciona Challenger et al. (2009), refutando la opinión de Lambin et al. (2001), de que los cambios en la cubierta terrestre forman parte de un cambio ambiental global.

Finalmente, los estudios anteriores reflejan la complejidad y la interacción de múltiples factores que impulsan los cambios en las coberturas de la tierra, con repercusiones directas en la biodiversidad y la estructura del paisaje. Por lo tanto, es crucial entender estos procesos para desarrollar estrategias efectivas de ordenamiento territorial dentro de los planes de manejo para áreas silvestres protegidas, así como los lineamientos necesarios para su implementación, aspectos que se desarrollarán en el siguiente apartado.

2.3. Ordenamiento territorial y los Planes Generales de Manejo

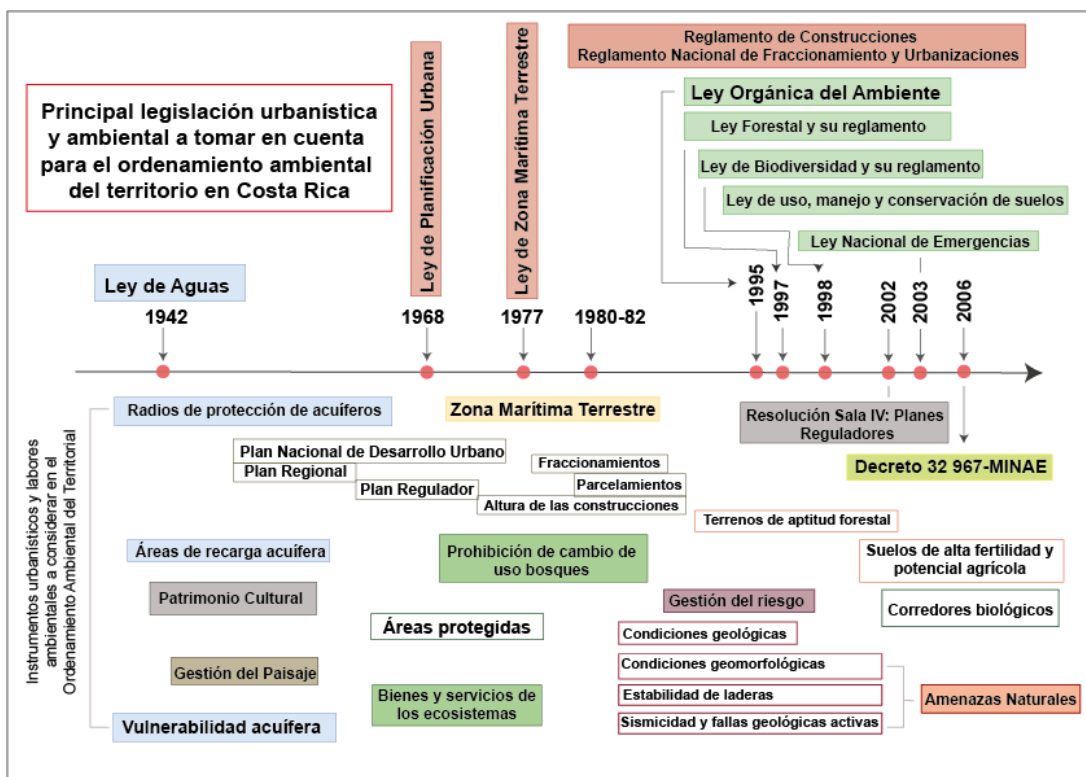
En Costa Rica el ordenamiento territorial, es definido según el Instituto de Vivienda y Urbanismo (INVU), 2017, como un:

Proceso administrativo, político y participativo, basado en un soporte legal, técnico y científico, que posibilita armonizar el bienestar de la población, con el aprovechamiento y conservación de los recursos ambientales, así como ubicar de forma óptima las actividades económicas, productivas, los asentamientos humanos, las áreas públicas, los servicios públicos, entre otras. (p.13).

Respecto al Ordenamiento Ambiental del Territorio, en Costa Rica existe un amplio marco legal que contempla normas como la Ley de Aguas, Ley de Planificación Urbana, Ley de la Zona Marítimo Terrestre, Ley Orgánica del Ambiente, Ley Forestal, Ley de Biodiversidad, Ley de uso, manejo y conservación de suelos, Ley de Emergencias, que se suman a una serie de reglamentos, decretos, resoluciones y planes, que se sintetizan la Figura 3. No obstante, a pesar de la multiplicidad de leyes en Costa Rica, el ordenamiento territorial del país se caracteriza por ser desordenado, generando una concentración urbana a nivel dentro del GAM, producto de la falta de una ley de ordenamiento territorial y de voluntad política por parte del estado, las limitaciones de las estructuras de descentralización, así como las dificultades de movilizar los intereses locales (Sáenz, Le Coq, Villalobos y Cathelin, 2011).

Figura 3

Marco legal principal que inciden en el Ordenamiento Ambiental del Territorio



Nota. Adaptado de Astorga, 2018.

En contraste a la situación expuesta anteriormente, el accionar del país en materia de conservación se considera un éxito debido a la política de conservación y los logros en la protección de recursos naturales, donde sobresalen la Ley Orgánica del Ambiente, la Ley Forestal, Ley de Biodiversidad. Siendo esta última, la que fundamenta en su artículo 22, la creación del Sistema Nacional de Áreas de Conservación. en 1998, entendido como:

un sistema de gestión y coordinación institucional, desconcentrado y participativo, que integra las competencias en las materias forestal, vida silvestre y áreas protegidas, con el fin de dictar políticas, planificar y ejecutar procesos dirigidos a lograr la sostenibilidad en el manejo de los recursos naturales de Costa Rica (Ley 7788 Artículo 22).

Asimismo, en el artículo 28 de esa misma ley se define al área de conservación como: unidades territoriales del país, delimitadas administrativamente, regidas por una misma estrategia de desarrollo y administración, debidamente coordinadas con el resto del sector público. En ellas se interrelacionan las actividades privadas con las estatales en materia de conservación e incluyen

tanto asentamientos humanos (urbanos y rurales) y tierras destinadas a la producción como áreas silvestres protegidas (Ley 7788 Artículo 28).

A pesar de la notable brecha entre el nivel de creación e implementación de las políticas de conservación y la aplicación de políticas que contribuyen al ordenamiento territorial, el país ha hecho esfuerzos por crear instrumentos de regulación territorial como el Plan Nacional de Ordenamiento Territorial, Plan Regulador Urbano y Costero, Planes de Zonificación de Riesgo, Plan General de Manejo, entre otros, los cuales impulsan el desarrollo del ordenamiento ambiental del territorio.

Siendo el Plan General de Manejo (PGM), el instrumento de planificación el que permite orientar la gestión de un Área Silvestre Protegida (ASP) hacia el cumplimiento de sus objetivos de conservación a largo plazo (SINAC, 2016). Se desarrolla mediante ocho fases generales (Figura 4) y ofrece una propuesta de zonificación que “propone la organización y distribución espacial de dichos territorios en función de los valores, tanto naturales como socioeconómicos y culturales presentes en el área declarada como tal”, (SINAC, 2018). De esta manera se logra establecer diferentes espacios en el ASP para el establecimiento de usos, actividades y condiciones deseadas, fundamentalmente en función del alcance de los objetivos de conservación con los que fue creada el ASP, así como los objetivos establecidos en el PGM, logrando de esta manera una planificación territorial.

Figura 4

Etapas del diseño y formulación del PGM



Nota. Adaptado de SINAC, 2016.

De esta manera, el ordenamiento territorial y los planes de manejo para áreas silvestres protegidas representan pilares fundamentales en la gestión sostenible de los recursos naturales. En Costa Rica, instrumentos como el Plan General de Manejo (PGM), no solo buscan conservar la biodiversidad y los servicios ecosistémicos, sino también armonizar el desarrollo económico con la protección ambiental. La implementación efectiva de estas estrategias requiere de una constante evaluación y monitoreo de la cobertura de la tierra, donde la teledetección juega un papel crucial. Esta técnica permite obtener información detallada y actualizada sobre los cambios en la cobertura de la tierra, facilitando la toma de decisiones informadas en la planificación espacial, el seguimiento de impactos ambientales y la adaptación de las estrategias de manejo según las dinámicas naturales y socioeconómicas. En el siguiente apartado, indagaremos cómo la teledetección se utiliza como una herramienta para el análisis de la cobertura de la tierra.

2.4. La Teledetección como técnica para el análisis de cobertura de la tierra.

La utilización de imágenes satelitales para el análisis de las coberturas de la tierra es considerada como una de las bases para la investigación de la evaluación y manejo de recursos naturales, especialmente a partir del lanzamiento de la serie Landsat en 1972. A lo largo de la historia el análisis y monitoreo de la cubierta de terrestre se ha llevado a cabo por medio de teledetección aéreo-transportada y satelital, facilitando de esta manera el seguimiento de las dinámicas de cambio, dado que como menciona Sacristán (2005) esta disciplina estudia las variaciones espectrales, espaciales y temporales de las ondas electromagnéticas, y pone de manifiesto las correlaciones existentes entre estas y las características de los diferentes materiales terrestres.

Por su parte, Sobrino (2001) conceptualiza a esta disciplina como la técnica de adquisición y posterior tratamiento de datos espaciales provenientes de sensores remotos. Asimismo, Beget et al. (2005) hace referencia a esta como la ciencia y arte de obtener información de un objeto analizando los datos adquiridos mediante algún dispositivo que no está en contacto físico con dicho objeto. Es decir, se entiende como teledetección a la técnica de interpretación y análisis de la radiación electromagnética emitida por los objetos abióticos y bióticos localizados en la superficie terrestre, sin estar en contacto directo con ellos. Esta técnica también incluye el procesamiento e interpretación de las imágenes.

Es así como actualmente se considera a la teledetección como una de las principales tecnologías de información geográfica, cuya aplicabilidad experimenta un crecimiento exponencial, debido a la variedad de sensores en plataformas espaciales, todos con parámetros y finalidades distintas, obligando al empleo de grandes ordenadores y métodos de tratamiento de datos masivos muy sofisticados (Sacristán, 2005). Su implementación se ha extendido al análisis y gestión de los recursos naturales, surgiendo de esta manera la teledetección ambiental, técnica vital para en el monitoreo y estudio del estado y dinamismo de la cubierta vegetal o las superficies marinas; también ha resultado determinante en el establecimiento de objetivos de restauración ecológica e indicadores de evaluación y monitoreo de estos, debido a que facilitan la identificación de sitios de referencia apropiados, basados en el aspecto, la topografía, el suelo y demás factores que forman la estructura de la vegetación (Clewell y Aronson, 2013).

Finalmente, con este crecimiento exponencial en la variedad de sensores y plataformas espaciales, la teledetección se ha convertido en una herramienta indispensable para la gestión de recursos naturales y la conservación ambiental facilitando no solo la evaluación del estado y dinamismo de la cubierta vegetal y marina, sino también el diseño de estrategias efectivas para la restauración ecológica y la definición de indicadores clave para la monitorización ambiental. En este contexto, la combinación de teledetección con métodos avanzados como el algoritmo BFAST representa un avance significativo para la comprensión y gestión de los cambios en las coberturas de la tierra, aspecto que se indagarán en el siguiente apartado.

2.5. El algoritmo Breaks For Additive Season and Trend (BFAST) como método de análisis de coberturas de la tierra.

La utilización de sensores satelitales es actualmente una fuente de información de suma importancia dado que resultan ser apropiados para capturar los efectos de muchos procesos que causan cambios en la cubierta vegetal, incluidos los naturales (por ejemplo, incendios, ataques de insectos) y antropogénicos (por ejemplo, deforestación, urbanización, agricultura) (Jin y Sader, 2005). Según autores como Verbesselt et al. (2010a, 2010b); Vogelmann et al. (2012), el estudio de estos cambios se puede dividir en 4 categorías: cambio estacional o cíclico (impulsado por interacciones de temperatura y lluvia que impactan en la

fenología de las plantas); cambio de tendencia gradual (tendencias en la precipitación media anual o cambio en el manejo de la tierra que provocan cambios a lo largo de varios años); cambio de tendencia abrupto (causado por eventos de actividades humanas) y cambio natural (cambian la superficie de la tierra en períodos cortos de tiempo por ejemplo, viento o sequía).

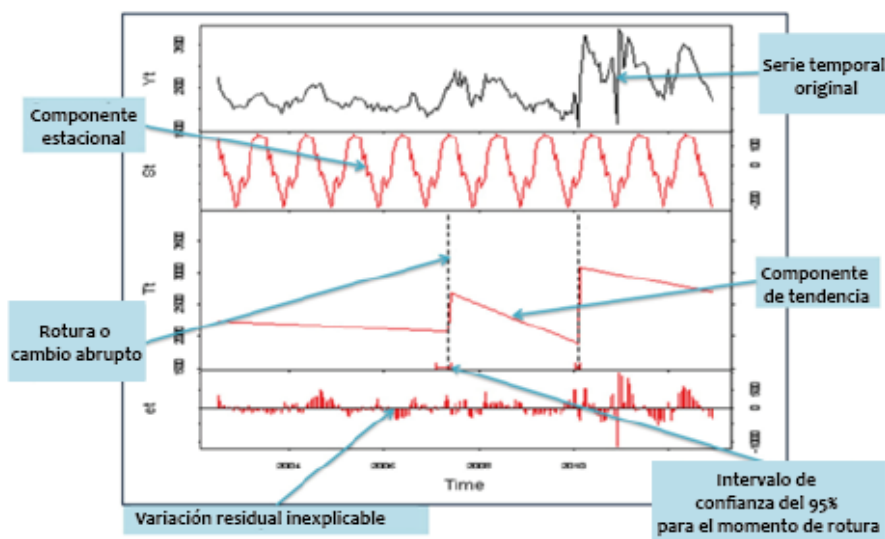
La detección y caracterización de cambios en la cobertura terrestre es una tarea compleja, lo que ha impulsado a estudios recientes a explorar nuevas metodologías para facilitar el análisis de series temporales de imágenes satelitales, como es el caso del algoritmo BFAST. Este algoritmo, desarrollado con dos objetivos principales, permite detectar múltiples cambios abruptos tanto en las estaciones como en los componentes de tendencia de la serie temporal. Además, caracteriza cambios ecosistémicos graduales y abruptos, derivando el momento, la magnitud y la dirección del cambio dentro de la tendencia (Verbesselt et al. 2010a). Su implementación se ha convertido en una tendencia a nivel internacional, integrándose incluso en metodologías de monitoreo de coberturas terrestres.

El algoritmo Breaks For Additive Season and Trend (BFAST), desarrollado por Verbesselt et al. (2010a), se destaca por su capacidad de descomponer las series temporales en tres componentes: tendencia (representa cambios a largo plazo), estacionalidad (fluctuaciones periódicas) y ruido (errores geométricos, dispersión atmosférica y efectos de nubes). Además, BFAST define dentro de la serie temporal un periodo histórico para ajustar el modelo de regresión y otro para la detección de cambios (monitoreo). Se considera que ha habido un cambio cuando la diferencia entre el valor observado y el predicho excede un intervalo de confianza del 95 % (Esteban et al., 2019) (Figura 5). El modelo de descomposición aditiva para series temporales aplicada a un conjunto de imágenes satelitales tiene la forma general expresada en la Fórmula 1, donde Y_t son los datos observados en el tiempo t , T_t es el componente de tendencia, S_t es el componente estacional y e_t es el resto, o componente residual.

$$Y_t = T_t + S_t + e_t \quad (1)$$

Figura 5

Componentes de la salida gráfica de la descomposición de series de tiempo utilizando el algoritmo BFAST



Nota. Tomado de Watts y Laffan, (2014).

Básicamente, el funcionamiento de dicho algoritmo se base en tres etapas: el ajuste del modelo armónico mediante observaciones en el periodo histórico definido, observaciones de prueba en el período de monitoreo para la identificación de puntos de quiebre, y cálculo de la mediana de los residuos para todas las observaciones esperadas y reales dentro del período de monitoreo. De esta forma se logra monitorear las perturbaciones existentes en la serie temporal casi en tiempo real, aspecto de suma importancia en el estudio del dinamismo de la cubierta terrestre, dado que se extraen detalles temporales disponibles en series temporales de imágenes satelitales para examinar patrones de respuesta de la cubierta, permitiendo que se determine la temporalidad exacta del cambio abrupto, lo que enriquece el análisis en dichos estudios.

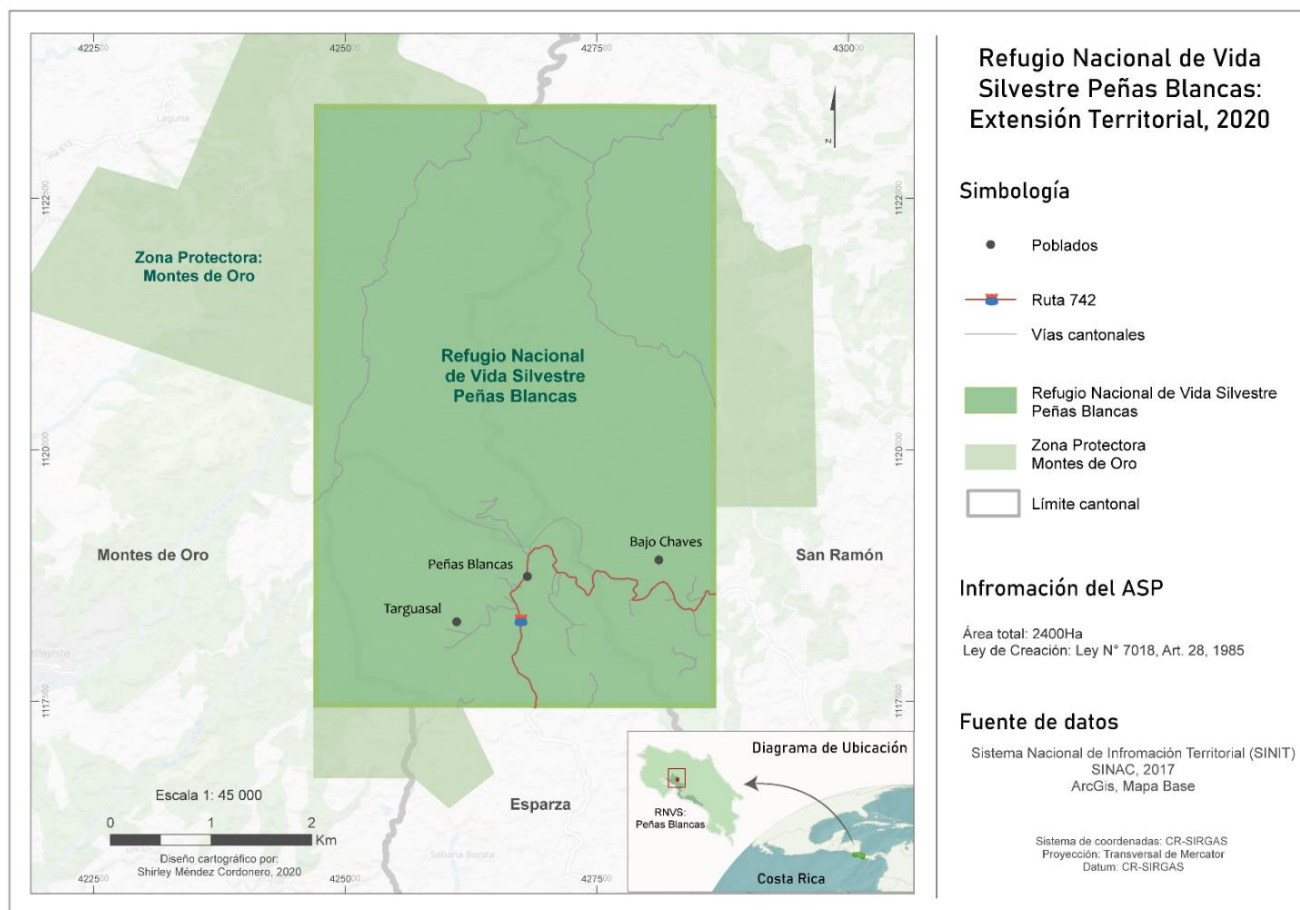
3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Descripción del área de estudio

La investigación presenta como área de estudio el Refugio Nacional de Vida Silvestre Peñas Blancas (RNVS-PB), establecida como área silvestre protegida por medio de la Ley N° 7018 (Artículo 28) del año 1985, con el fin de proteger fuentes hidrográficas y los animales silvestres que en ella habitan. (Asamblea Legislativa, 1986). Pertenece al Área de Conservación Pacífico Central (ACOPAC), con una extensión territorial total de 2 400 Ha, distribuidas en los cantones de Esparza (523 ha), San Ramón (1 025 ha) y Montes de Oro (852 ha) (Mapa 1). Sus coordenadas extremas son las siguientes: al norte 10.159, al sur 10.105, al este -84.65 y al oeste -84.68.

Mapa 1

Información del Refugio Nacional de Vida Silvestre Peñas Blancas



Nota. Elaboración propia, 2020.

El RNVS-PB es de propiedad mixta, es decir que algunos sectores pertenecen al Estado y otros son propiedad privada. No obstante, se establece como ente encargado de su administración a la Dirección General Forestal, con la colaboración de la Municipalidad de Esparza y de la Asociación Integral de Desarrollo de la Comunidad de Cerrillos de Esparza.

Además, se caracteriza por una orografía irregular con altas pendientes, la presencia de bosque premontano húmedo y bosque tropical seco, siendo las principales amenazas presentes en esta ASP la inestabilidad de laderas y remoción de masas. Por otra parte, según el estudio ambiental, elaborado por la Universidad Nacional y la Municipalidad de Esparza para la Incorporación de la Variable ambiental en Plan Regulador de Esparza, en el 2011 el 54 % del área total perteneciente al RNVS-PB se encontraba bajo una categoría de uso de pasto con árboles, seguido de un 39 % de bosque secundario y un 7 % vegetación ribereña, (Tabla 2).

Tabla 2

Usos de la tierra del RNVS-PB

Uso	Área m ²	Área hectáreas
Charral o tacotal	2.853	0,3
Bosque secundario	1.993.796	199,4
Maíz	3.839	0,4
Urbano	16.814	1,7
Pastos con arboles	2.756.572	275,7
Terreno descubierto	5.160	0,5
Humedal	2.247	0,2
Vegetación de ribera	352.261	35,2

Nota. Tomado de Universidad Nacional (UNA) y Municipalidad de Esparza, 2011.

3.2. Tipo de investigación

3.2.1. Enfoque metodológico

La presente investigación utiliza el enfoque cuantitativo no experimental, el cual se caracteriza por la verificación y comprobación de teorías mediante estudios muestrales representativos, empleando técnicas estadísticas en el análisis de datos, así como la generalización de resultados; características que le permiten ser parte de ese enfoque secuencial y probatorio. De igual forma, al ser no experimental, carece de un control directo de las variables en estudio, puesto que estas (las coberturas de la tierra) ya sucedieron, al igual que sus efectos. Por su parte, el diseño del estudio es longitudinal- descriptivo y en alguna medida relacional (Hernández et.al, 2014), lo que significa que se recolectan datos en diferentes momentos o periodos para hacer inferencias respecto al cambio, sus determinantes y consecuencias; en este caso cambios espacio temporales en las coberturas de la tierra. Asimismo, cabe mencionar, que para efectos de esta investigación la observación de forma remota de los cambios de la cubierta terrestre representa el componente relacional que busca explicar los factores vinculantes a este cambio, no como causa sino como variables asociadas.

3.2.2. Fuentes de Información

Las fuentes de documentación son esenciales en la investigación, dado que con estas se fundamenta y complementa la misma. Estas a su vez, se pueden clasificar en primarias y secundarias. Siendo las primarias aquellas fuentes de información de autoría propia, por su parte las secundarias son fuentes con las que se recopila información asociada al tema en estudio y que fueron elaboradas por otros autores o instituciones. A continuación, se procede a detallar las fuentes a utilizar.

3.2.2.1. Primarias

Esta investigación considera como fuente primaria a la información extraída de los valores estadísticos procedentes del procesamiento de imágenes satelitales mediante BFAST, así como la información obtenida del trabajo de campo con la cual se pretende verificar los cambios en la cobertura de la tierra detectados, además de la identificación de posibles factores que inciden en la ocurrencia de dichos cambios por parte de autores claves presentes en la ASP. Estas fuentes son de suma importancia dado que, al generar datos propios los

resultados del estudio se convierten en datos únicos, lo que significa un aporte en el tema de estudio.

3.2.2.2. Secundarias

Se consideran como fuentes secundarias al material bibliográfico asociado al tema de investigación que ayudan a sustentar la base teórica del mismo. Siendo dichos documentos libros, revistas, artículos científicos, informes técnicos, tesis y demás documentación que se utiliza como material de apoyo en la obtención de aportes teóricos necesarios para la redacción diferentes apartados del documento.

Asimismo, se cataloga como fuente secundaria a las imágenes satelitales (Landsat 7 y 8), adquiridas y procesadas por medio del Sistema de acceso de datos de observación de la tierra, procesamiento y análisis para la vigilancia de la superficie terrestre (SEPAL, por sus siglas en inglés) y los insumos procedentes de la Municipalidad de Esparza y el Laboratorio PRIAS del Centro Nacional de Alta Tecnología (CeNAT), los cuales son esenciales para el desarrollo de los diversos objetivos de la investigación.

3.3. Variables

Para realizar el presente trabajo final se necesita el desarrollo de tres fases generales, 1) identificación de puntos de quiebre dentro de la serie de tiempo, 2) determinación de factores asociados al cambio en la cobertura de la tierra del RNVS-PB y 3) formulación de recomendaciones de ordenamiento territorial vinculables a la zonificación en ASP; fases que a su vez se entrelazan, dado que los productos de cada fase (material cartográfico y estadístico, análisis integral de la dinámica de cambio y recomendaciones de OT) servirán de insumo para el desarrollo de la siguiente fase.

La investigación aborda tres variables: a) cambios espacio temporales en la cobertura de la tierra del RNVS-PB, b) factores asociados a los cambios espacio – temporales de las coberturas de la tierra y, c) la formulación de recomendaciones en términos de organización y distribución espacial de diferentes usos, actividades dentro del ASP vinculables al reglamento de zonificación del SINAC. Cada variable busca generar insumos que sirvan para la elaboración de un análisis integral sobre los cambios espacio temporales de las coberturas de la tierra en el Refugio Nacional de Vida Silvestre Peñas Blancas, durante el periodo 2009-2019 aplicando el algoritmo BFAST; generando un documento de referencia para la Municipalidad de Esparza en el diseño de un Plan General de Manejo del RNVS-PB.

3.3.1. Variable 1: Cambios Espacio Temporales en la Cobertura de la Tierra del RNVS-PB

Conceptualmente según SIMOCUTE (2019) se define como cobertura de la tierra a la cubierta de elementos bióticos y abióticos presentes en un sitio (p. ej. árboles, arbustos, agua, pavimento, techos, entre otras), cuya transformación significa alteraciones en su forma y en los componentes que la estructuran, así como los bienes y servicios que esta proporciona (Carvajal y Pabón, 2016).

Los cambios en la cobertura de la tierra se relacionan con la identificación de puntos de quiebre dentro de la serie temporal construida mediante las imágenes satelitales seleccionadas, puntos que hacen referencia a cambios estadísticos significativos identificados en la serie temporal a partir de los índices de vegetación, es decir, cambios relevantes en los valores del NDVI.

3.3.2. Variable 2: Factores asociados a los cambios en la cobertura de la tierra

Los procesos de cambio en la cubierta vegetal y uso de la tierra ocurren en una dinámica compleja asociada a la interacción de múltiples variables como son el tipo de cubierta vegetal, las interacciones ecológicas, el ambiente físico, las actividades socioeconómicas y el contexto social (Dale y Beyeler, 2001), lo que dificulta su definición, ya que forma parte de un sistema complejo donde se considera la conexión de distintos factores como cadenas causales del cambio en las coberturas de la tierra. Lambin et al. (2001), determinan que el uso de la tierra es el resultado de la modificación intencionada de la cobertura de la tierra para el desarrollo de actividades humanas, tal como es el caso del proceso de expansión agrícola, el cual, a su vez, podría inclusive derivar en problemáticas ambientales.

Dada la complejidad de la definición de factores causantes de cambio en la cubierta terrestre, Lambin et al (2001), en su estudio establecen una clasificación general de dichos factores, agrupándolos en factores biofísicos, económicos, tecnológicos, demográficos, institucionales y culturales. Además, de considerar la conexión de dichos factores como cadenas causales, es decir, la interconectividad de los factores que impulsan la dinámica de la cobertura y/o usos de la tierra, siendo ejemplos de factores causantes de cambio los que se muestran en la Figura 6.

Figura 6

Ejemplos de factores causantes de cambio en la cobertura de la tierra



Nota. Adaptado de Lambin et al, 2001.

En términos de operación, esta variable será entendida, como el análisis de los datos estadísticos, obtenidos de la fase anterior, donde se identificará la dinámica de cambio experimentada en la cubierta terrestre del área de estudio. Lo que se realizara mediante, interpretación de imágenes satelitales, así como la consulta de fuentes bibliográficas y trabajo de campo para la identificación de factores que impulsan la dinámica de la cobertura de la tierra establecida mediante el análisis de datos estadísticos.

3.3.3. Variable 3: Ordenamiento territorial vinculable a la zonificación de ASP

El ordenamiento territorial, es definido, según INVU (2017) como:

Proceso administrativo, político y participativo, basado en un soporte legal, técnico y científico, que posibilita armonizar el bienestar de la población, con el aprovechamiento y conservación de los recursos ambientales, así como ubicar de forma óptima las actividades económicas, productivas, los asentamientos humanos, las áreas públicas, los servicios públicos, entre otras (p.13).

Operacionalmente, la variable de OT se considera como la aplicabilidad de conceptos y recomendaciones en términos de organización y distribución espacial de diferentes usos,

actividades y condiciones aplicables a la dinámica del ASP en estudio, teniendo en consideración la función y el alcance de los objetivos de conservación con los que fue creada el ASP, así como la legislación nacional y especificaciones sugeridas por el Sistema Nacional de Áreas de Conservación para el desarrollo de una zonificación óptima específicamente en los documentos como la “Guía para el diseño y formulación del Plan General de Manejo de las Áreas Silvestres Protegidas de Costa Rica” (SINAC, 2016), la “Guía Rápida para la Implementación de la Zonificación en Áreas Silvestres Protegidas de Costa Rica” (SINAC, 2018).

3.4. Recolección de datos

3.4.1. Generación de datos de cobertura de la tierra a partir de imágenes satelitales

En esta investigación se emplea la colección de imágenes satelitales Landsat 7 y 8 que se encuentran disponibles en los datos públicos de Google Earth Engine (GEE), esto debido al el tiempo de funcionamiento propio de las misiones Landsat, las cuales han compilado información desde el año 1972, obteniendo constantemente imágenes espaciales de la superficie de la Tierra, proporcionando datos valiosos para los estudios asociados a la cobertura y uso de la tierra.

Asimismo, cabe mencionar, que dicha colección de imágenes incluye datos corregidos atmosféricamente y con radiometría bien caracterizada, es decir que son de nivel 1, (ver Tabla 3 y 4), siendo de esta manera insumos esenciales para el desarrollo de los diversos objetivos de la investigación, que en conjunto con los datos procedentes de la Municipalidad de Esparza y el Laboratorio PRIAS del Centro Nacional de Alta Tecnología (CeNAT) conllevan a la generación de valores estadísticos procedentes de la aplicación del algoritmo BFAST a imágenes satelitales mediante la plataforma SEPAL, generando una versión preliminar de la dinámica de cambio en la cobertura de la tierra en el RNVS-PB.

Tabla 3*Especificaciones de las misiones Landsat 7 y 8*

	CANTIDAD DE BANDAS	SENSOR	RESOLUCIÓN ESPACIAL (M)	RESOLUCIÓN RADIOMÉTRICA
LANDSAT 7	8	ETM+	30m Banda 6: 60m Banda 8: 15m	8 bits
LANDSAT 8	11	OLI y TIRS	30m Banda 8: 15m Banda 10 y 11: 100m	16 bits

Nota. Adaptado con datos de U.S. Geological Survey (USGS).

Tabla 4*Imágenes Landsat nivel 1*

NIVEL DE PROCESAMIENTO	DESCRIPCIÓN
Corrección de terreno estándar L1TP	Calibrado radiométricamente y ortorectificado mediante puntos de control de tierra y datos del modelo de elevación digital (DEM) para corregir el desnivel del relieve. Estos son los productos de nivel 1 de mayor calidad adecuados para el análisis de series de tiempo a nivel de píxeles.
Corrección sistemática del terreno L1GT	Calibrado radiométricamente y con correcciones geométricas sistemáticas aplicadas utilizando los datos de efemérides de la nave espacial y los datos DEM para corregir el desplazamiento del relieve.
Corrección sistemática L1GS	Radiométricamente calibrado y con solo correcciones geométricas sistemáticas aplicadas utilizando los datos de efemérides de la nave espacial.

Nota. Tomado de U.S. Geological Survey (USGS), 2019.

3.4.2. Trabajo de Campo

El trabajo de campo de esta investigación involucrará la observación directa de la cobertura actual de la tierra en el área de estudio (ficha de campo), ver Anexo 1, así como la identificación de indicios de alteraciones en los puntos de cambio de cobertura de la tierra detectados durante los períodos más recientes de la escala temporal de la investigación (2017 a 2019) y el registro fotográfico de la misma. Información esencial para el desarrollo de la matriz de confusión, así como de la validación del material cartográfico.

Por otro lado, el trabajo de campo relacionado con el segundo objetivo específico involucra métodos de tipo cualitativo como la realización de entrevistas a actores clave en la comunidad. Estas entrevistas se enfocan en la percepción sobre los procesos de cambio de coberturas de la tierra en el RNVS-PB y sus alrededores, así como en la identificación de posibles factores desencadenantes de dichos cambios, información crucial para el análisis integral de la dinámica de cambio en el área de estudio.

Finalmente, como parte del último objetivo específico, se llevaron a cabo visitas de campo adicionales para observar la organización y la distribución espacial de los diferentes usos y actividades dentro del RNVS-PB, así como en los poblados cercanos al ASP. Estas observaciones en campo proporcionarían información clave para el análisis espacial y temporal de los cambios en la cobertura de la tierra.

3.4.3. Recolección y sistematización de documentos relacionados con ordenamiento territorial, y zonificación de ASP

El proceso de formulación de recomendaciones se apoya de manera metodológica en documentos como la “Guía para el diseño y formulación del Plan General de Manejo de las Áreas Silvestres Protegidas de Costa Rica” (SINAC, 2016), la “Guía Rápida para la Implementación de la Zonificación en Áreas Silvestres Protegidas de Costa Rica” (SINAC, 2018) y la información procedente de las fases anteriores de la investigación. Esto con el fin de identificar áreas de intervención en términos de organización y distribución espacial de diferentes usos, actividades en el RVS-PB, donde se puedan recomendar acciones vinculables a un futuro proceso de zonificación en el ASP, las cuales tomen en consideración la función y el alcance de los objetivos de conservación con los que fue creada la misma, generando de esta manera un insumo para la toma de decisiones.

3.5. Análisis de datos

3.5.1. Identificación de cambios espacio - temporales

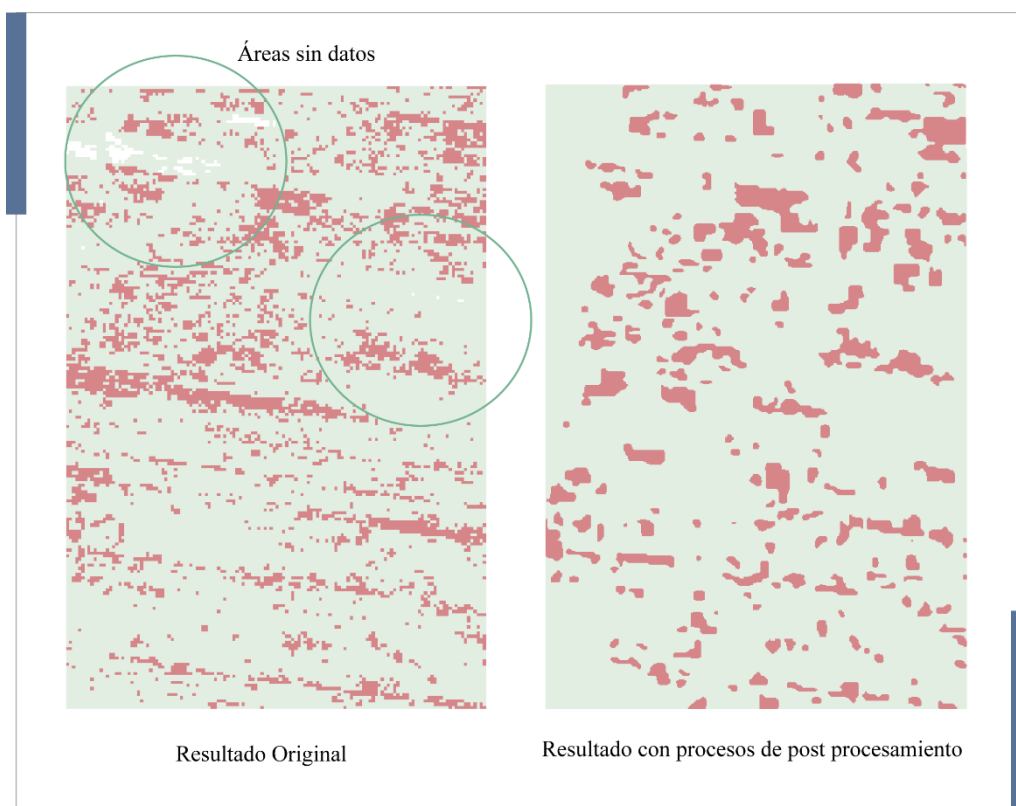
En cuanto al proceso de identificación de cambios espacio – temporales en la cobertura de la tierra del RNVS-PB se aplica el algoritmo BFAST mediante la plataforma SEPAL, impulsada por el Departamento Forestal de la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) que tiene como objetivo proporcionar herramientas que fortalezcan los sistemas nacionales de monitoreo de las coberturas de la tierra. Asimismo, esta utiliza extensas colecciones de bases de datos geospaciales como las de GEE así como el software estadístico R (R Core Team, 2020) que permite la implementación del algoritmo BFAST.

Este proceso de identificación inicia con la generación de series de tiempo de imágenes satelitales (SITS), en la plataforma SEPAL, donde, primeramente, se realiza una fase de revisión literaria para el desarrollo de un marco teórico sólido y el desarrollo de habilidades prácticas en cuanto a la utilización de la plataforma SEPAL y la aplicación BFAST GPU en términos de generación y manipulación de series temporales, así como en la detección de cambios en la cobertura de la tierra.

Seguidamente, la construcción de la serie temporal (ST) consiste en la definición de parámetros como la selección del área de interés (AOI), fechas de la ST, fuentes de conjuntos de datos (selección de imágenes Landsat 7 y 8), y parámetros de preprocesamiento como corrección atmosférica y enmascaramiento de nubes. Cabe mencionar que la selección de imágenes Landsat 7 implica una corrección posterior debido a errores técnicos que generan imágenes con bandas oscuras diagonales, conocidas como "bandas de desplazamiento", (Figura 7). A pesar de este problema, existen herramientas como Fix Landsat 7 Scanline Error de ArcGIS o Rellenar sin datos de QGIS, que permiten identificar el bandeo de líneas para interpolar valores y corregir la banda original.

Figura 7

Ejemplo de corrección de la serie temporal



Nota. Elaboración propia, 2023.

Posteriormente, la aplicación del algoritmo BFAST (Breaks For Additive Season and Trend) se basa en la generación de un modelo armónico estacional para todos los datos disponibles durante un período de verificación específico, y sus predicciones en períodos posteriores (Soto-Berelov e Hislop, 2016). Este método consiste en desarrollar un modelo calibrado a los datos por Mínimos Cuadrados Ordinarios (OLS) adecuado al periodo histórico, donde posteriormente el algoritmo verifica la estabilidad del mismo modelo durante el período definido como monitoreo o verificación. Donde se ajustan parámetros como el orden del término armónico, fecha de monitoreo, ancho de banda (bandwidth), nivel de significancia y backend.

Asimismo, se descargará la banda correspondiente al NDVI, formulado por (Rouse et al. 1974) y calculado mediante la Fórmula 2, resolución espacial de 30m, tamaño del título de 0.2 grados y un lado del fragmento de 64. La selección de este índice se justifica dada la

simplicidad de cálculo y comprensión de este ya que se presenta una escala de -1 a 1, donde los valores negativos representan superficies sin vegetación y los valores positivos presencia de vegetación. (Muñoz, 2013). Además, cabe destacar la existencia de tablas de valores de NDVI para clasificar la cantidad de biomasa, tal y es el caso del estudio de Caballero y Treviño (2018), (Tabla 5), dada su correlación con parámetros biofísicos como lo son biomasa vercosa y la fracción de cobertura vegetal, así como el comportamiento de su crecimiento el cual sigue ciclos anuales. (Zaraza-Aguilera., y Manrique-Chacón, 2019).

Dichas características facilitan que el algoritmo BFAST compare segmentos de la serie temporal y detecte rupturas o cambios abruptos en el patrón de los valores de NDVI, generando datos sobre la magnitud del cambio. Lo que resulta en áreas con magnitudes negativas asociadas a la pérdida de cobertura vegetal y áreas positivas con ganancia de vegetación, obteniendo así la serie temporal necesaria para los productos mediante la aplicación BFAST GPU.

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad (2)$$

Donde,

NIR= reflectancia corregida atmosféricamente correspondiente al infrarrojo cercano

R = reflectancia corregida atmosféricamente correspondiente al rojo

Tabla 5

Clasificación de los valores de NDVI

Clasificación	Valor
Nubes y agua	<0.01
Suelo sin vegetación	0.01-0.1
Vegetación ligera	0.1-0.2
Vegetación mediana	0.2-0.4
Vegetación alta	>0.4

Nota. Tomado de Caballero y Treviño, 2018.

Finalmente, el proceso de validación consistirá en la creación de una malla de puntos,

cuya cantidad mínima se calcula mediante las coberturas de la tierra existentes en RNVS-PB, extraídas del estudio realizado por la Municipalidad de Esparza y la Universidad Nacional para la incorporación de la variable ambiental en el plan regulador, (Tabla 6) y la aplicación de la Fórmula 3 referente al muestreo por proporciones, lo que deriva en la determinación de la cantidad idónea de puntos de validación para obtener una representación idónea del área de estudio. Posteriormente, se procede a realizar un proceso de comparación en los puntos identificados, con el fin de detectar cambios en cartografía existente como mosaicos de ortofotos, mosaico de imágenes satelitales, Tabla 7. Generando de esta manera, una matriz de confusión bidimensional, la cual está conformada por columnas (categoría de usuario), que proviene de la interpretación de imágenes de satélite, y filas representan la categoría BFAST (autenticidad del archivo raster), (Camacho-Sanabria, et.al. 2015) (Tabla 8).

De esta manera, como resultado de esta fase de investigación, se obtienen datos estadísticos y material cartográfico que proporcionan una representación sobre la dinámica espacio-temporal de los cambios en la cobertura de tierra del RNVS-PB durante el período comprendido entre 2009 y 2019, (Figura 8). Hallazgos esenciales para la identificación de posibles agentes causales de dichos cambios, proporcionando así una base sólida para abordar y comprender mejor las dinámicas ambientales y sus efectos en el área de estudio.

Tabla 6

Usos de la Tierra, RVS Peñas Blancas

<i>Uso</i>	<i>Área m²</i>	<i>Área hectáreas</i>
<i>Charral o tacotal</i>	2 853	0.3
<i>Bosque secundario</i>	1 993 796	199.4
<i>Maíz</i>	3 839	0.4
<i>Urbano</i>	16 814	1.7
<i>Pastos con árboles</i>	2 756 572	275.7
<i>Terreno descubierto</i>	5 160	0.5
<i>Humedal</i>	2 247	0.2
<i>Vegetación de ribera</i>	352 261	35.2
<i>Total</i>	5 133 542	513.4

Nota: Municipalidad de Esparza y ECG-UNA, 2011.

$$n = \frac{z^2 pq}{L^2} \quad (3)$$

VARIABLES:

n: Tamaño de la muestra

z: Nivel de probabilidad del 95%, se sustituye con un valor de z de 1,96

p: Porcentaje estimado de aciertos se refiere al porcentaje de área de las clases

q: Porcentaje de errores ((1-p)x100)

L: Nivel permitido de errores corresponde a un 5%

Tabla 7

Material cartográfico empleado para la validación de productos

Material cartográfico	Fuente
Fotografías áreas CARTA 2005	Facilitadas por la Escuela de Ciencias Geográficas, UNA
Imágenes Rapid Eye 2011 y 2012	Laboratorio PRIAS
Mosaico de ortofotos 2014-2017	Sistema Nacional de Información Territorial (SNIT)
Mapa base (cobertura actual)	Qgis

Nota. Elaboración propia, 2023.

Tabla 8.

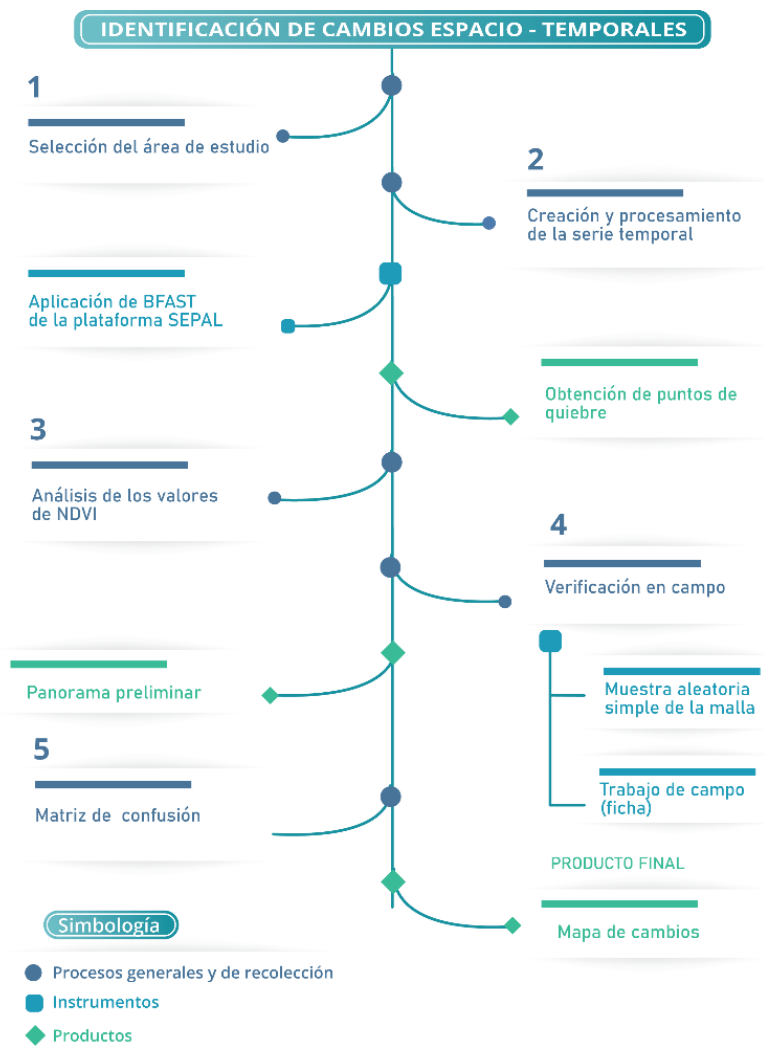
Diseño general de la matriz de confusión.

Verdad terreno (Clases de referencia= i)	Verdad imagen (Categorías del mapa = j)				Total
	j_1	j_2	...	j_q	
i_1	i_1j_1	i_1j_2	...	i_1j_q	i_{1+}
i_2	i_2j_1	i_2j_2	...	i_2j_q	i_{2+}
...
i_q	i_qj_1	i_qj_2	...	i_qj_q	i_{q+}
Total	$+j_1$	$+j_2$...	$+j_q$	$\Sigma+j i+$

Nota. Tomado de Camacho-Sanabria, et.al. 2015

Figura 8

Proceso metodológico aplicado a la variable identificación de cambios espacio – temporales en la cobertura de la tierra del RNVS-PB



Nota. Elaboración propia, 2021

3.5.2. Factores asociados a los cambios en la cobertura de la tierra.

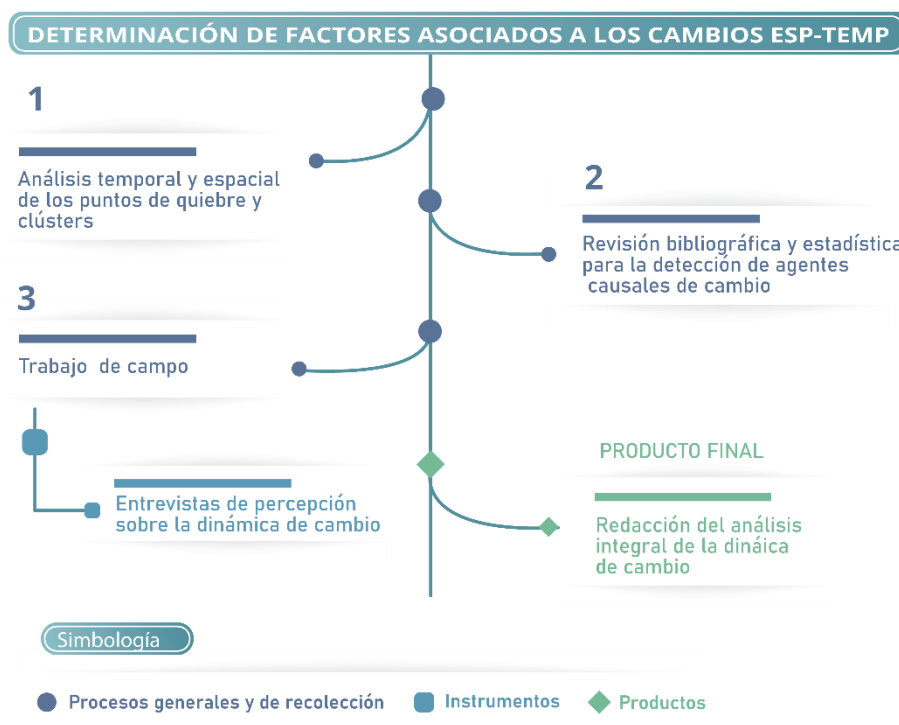
Para esta etapa de la investigación, se realizará un análisis detallado para cada punto de la malla sobrepuesta al área de estudio, debido a que, por la naturaleza del algoritmo, se pueden identificar zonas donde se detectan puntos de quiebre con una intensidad determinada (clústeres), esto según los valores de magnitud detectados por el algoritmo, contemplando de esta manera la información en términos temporales (fecha del cambio) e interpretación de imágenes satelitales (imagen en la que se detecta el cambio), para la

identificación del proceso de cambio según el punto en análisis, es decir, disminución o pérdida de la cobertura vegetal (Verbesselt et al. 2010a, 2010b).

Proceso que se fundamenta con las técnicas de teledetección utilizadas, con la revisión de instrumentos como la legislación nacional (aplicable en ASP), informes técnicos, información estadística, material cartográfico, así como la realización de entrevistas con actores claves del ASP. Esto debido a que, como se ha mencionado anteriormente, los agentes causales de cambio pueden ser directos o indirectos, (Carvajal y Pabón, 2016), lo que requiere un enlace de información en términos económicos, políticos, sociales, ambientales y culturales. Obteniendo, como producto final un análisis integral de la dinámica de cambio en el RNVS.PB, dada la incorporación de los posibles agentes causales de dichos cambios, cumpliendo de esta forma con el alcance descriptivo - relacional propuesto. Proceso metodológico, que se sintetiza en la Figura 9.

Figura 9

Proceso metodológico aplicado a la variable determinación de factores asociados a los cambios espacio temporales experimentados en la cobertura de la tierra



Nota. Elaboración propia, 2021.

3.5.3. Integración de resultados para la generación de recomendaciones en términos de organización y distribución espacial de diferentes usos, actividades dentro del ASP

La integración de resultados se basa en el cruce de información procedente de la “Guía Rápida para la Implementación de la Zonificación en Áreas Silvestres Protegidas de Costa Rica”, específicamente las categorías de zonificación basada en el uso del territorio del área protegida en Costa Rica, (Tabla 9), y los resultados obtenidos de las fases anteriores. Esto con el fin de formular recomendaciones vinculables a la realidad del RNVS-PB y que contemplen la función, así como el alcance de los objetivos de conservación con los que fue creada el ASP. Resultando un insumo importante en el proceso de implementación de un eventual PGM, como instrumento de planificación, administración y gestión integral del área protegida.

Tabla 9

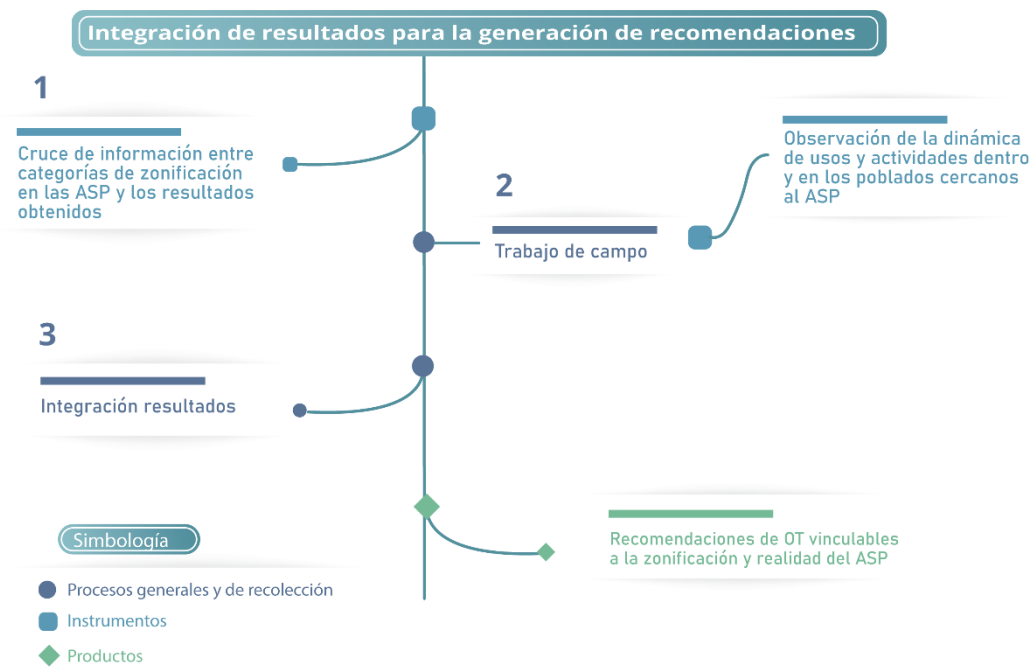
Zonificación basada en el uso del territorio del área protegida en Costa Rica

Zona	Objetivo	Intervención humana	Usos permitidos
Protección absoluta	Mantener la naturalidad de la biodiversidad	Nula - Muy baja	Investigación
Uso restringido	Mantener naturalidad o recuperación de áreas	Muy baja	Investigación Manejo activo Turismo especializado Infraestructura control y protección
Uso público	Proveer oportunidades a la sociedad de disfrutar y valorar los recursos naturales de manera más interactiva	Moderada - Alta	Turismo Infraestructura
Uso sostenible de recursos	Impacto de recursos de la biodiversidad	Moderada - Alta	Uso activo de bajo impacto y sostenible Infraestructura
Asentamientos humanos	Facilitar la gestión de sitios ocupados por asentamientos humanos dentro de áreas protegidas	Alta	Los permitidos por la legislación
Uso especial	Facilitar la administración del área protegida	Moderada - Alta	Uso administrativo
Amortiguamiento	Reducir las fuentes de presión en las inmediaciones del área protegida	Baja – Muy alta	Amplia gama

Nota. Tomado de SINAC, 2018. Elaborado a partir de Artavia, 2004.

Figura 10

Proceso metodológico aplicado a la variable Integración de resultados para la generación de recomendaciones en términos de organización y distribución espacial de diferentes usos, actividades dentro del ASP



Nota. Elaboración propia, 2021.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Esta sección brinda un análisis detallado de los resultados obtenidos en la presente investigación relacionados con los cambios espacio temporales de las coberturas de la tierra en el Refugio Nacional de Vida Silvestre Peñas Blancas durante el periodo 2009-2019. Resultados que proporcionan una comprensión sobre la dinámica de cambio en la cobertura de la tierra en el Refugio Nacional de Vida Silvestre Peñas Blancas durante la última década, utilizando el algoritmo BFAST para la identificación de puntos de quiebre significativos en la serie temporal, permitiendo generar datos estadísticos y material cartográfico que sirva como referencia para la planificación y gestión futura del área protegida.

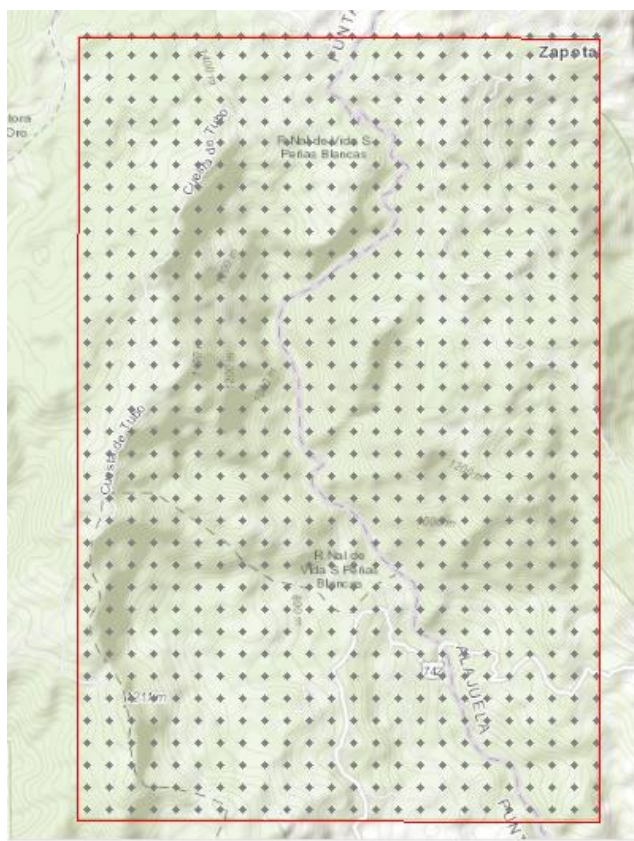
4.1. Cambios Espacio Temporales en la Cobertura de la Tierra del RNVS-PB

4.1.1. Aplicación del algoritmo BFAST

La aplicación del algoritmo BFAST GPU consiste en la generación de un raster cuya banda 2 representa la magnitud del cambio, expresada en valores de NDVI, donde los valores negativos indican alteraciones en la cobertura de la tierra. Dado que este algoritmo es sensible a modificaciones en parámetros internos como el orden del término armónico, se procede a crear múltiples productos raster con diversas configuraciones internas para obtener un producto óptimo adaptado al área de estudio. De esta forma, una vez creados los productos, se procede a realizar procesos de validación mediante la elaboración de matrices de confusión. Para lo cual se crea una malla de 864 puntos con una separación de 170m entre sí, como se muestra en la Figura 11, cuya cantidad mínima de puntos se determina utilizando la fórmula desarrollada por Chuvieco (2010), basada en las coberturas de la tierra existentes en RNVS-PB, información recabada del estudio realizado por la Municipalidad de Esparza y la Universidad Nacional, arrojando un mínimo de 854 puntos necesarios para una representación precisa y confiable del área de estudio, según se detalla en la Tabla 10. Una vez establecida esta malla de puntos, se procede a evaluar la precisión del producto, comparándolo con el material cartográfico establecido en la metodología de la investigación para la validación de productos.

Figura 11

Muestreo sistemático y grilla regular para la validación de productos



Nota. Elaboración propia, 2023.

Tabla 10

Puntos de validación, según cobertura de la tierra

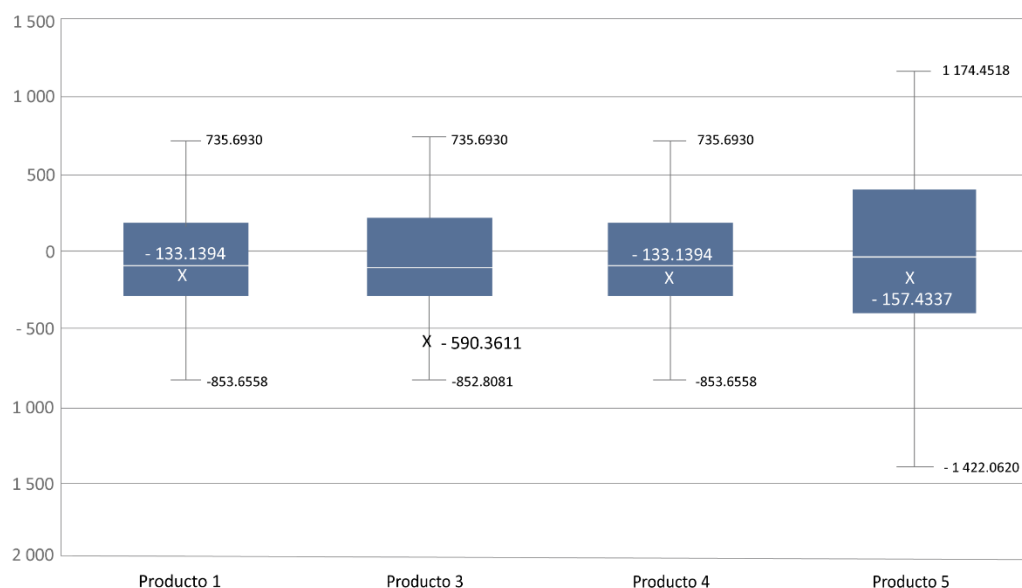
<i>Clase</i>	<i>Área (ha)</i>	<i>Área (%)</i>	<i>Puntos de validación</i>
<i>Charral o tacotal</i>	0.3	0.06	1
<i>Bosque secundario</i>	199.4	38.84	365
<i>Maíz</i>	0.4	0.08	1
<i>Urbano</i>	1.7	0.33	5
<i>Pasto con árboles</i>	275.7	53.70	382
<i>Terreno descubierto</i>	0.5	0.10	1
<i>Humedal</i>	0.2	0.04	1
<i>Vegetación de ribera</i>	35.2	6.86	98
Total	513.40	100	854

Nota. Elaboración propia, 2023.

Por ende, se procede a ejecutar el proceso de validación a los cinco productos generados en primera instancia, donde se obtiene como mejor resultado una exactitud general de un 65,28 % para uno de los productos generados, por lo que se procede a realizar cálculos de los promedios asociados a la detección de cambios (código 1 en la tabla de atributos) en los cinco productos, los cuales fueron de -133.1394, -2959.04506, -590.3611, -133.1394 y -157.4337, respectivamente. Posteriormente, con los promedios de los productos 1, 4 y 5 se generó un nuevo promedio que se utilizó como valor de cambio máximo pasando de 0 al nuevo valor de corte de -141.2375, cabe mencionar que en este proceso se dejaron por fuera los promedios del producto 2, dada su diferencia significativa con los demás promedios obtenidos, y el producto 3 dado que su promedio no se situaba en el conglomerado de datos, tal y como se observa en el siguiente gráfico.

Gráfico 1

Promedio de valores de los primeros cinco productos generados



Nota. Elaboración propia, 2023.

Seguidamente, con el nuevo valor de corte se procede a reajustar las matrices dando como resultado una mejoría de exactitud general de casi el 10 % en algunos de los productos (Tabla 11). Sin embargo, aunque se da una mejoría en la exactitud general de los productos ninguno de estos llega a superar el 80 % de exactitud general, por lo que se opta por probar

como valor de corte el promedio respectivo de cada producto y de esta manera reajustar las matrices.

Tabla 11

Exactitud general de los productos, según valor de corte

	<i>Producto 1</i>	<i>Producto 2</i>	<i>Producto 3</i>	<i>Producto 4</i>	<i>Producto 5</i>
<i>Exactitud general (0)</i>	65.28%	58.33%	63.77%	65.16%	60.88%
<i>Exactitud general (-141.2375)</i>	74.52%	61.78%	74.90%	74.52%	65.64%

Nota. Elaboración propia, 2023.

Al probar como valor de corte el promedio respectivo de cada producto y reajustar las matrices solo los productos 1, 3 y 4 obtienen un valor mayor al 70 %. Por tal motivo, se procedió a generar nuevos productos variando los parámetros de la aplicación BFAST GPU, obteniendo cuatro productos nuevos de los cuales el producto 9 presento mejores resultados alcanzando una exactitud de 85.33 %, utilizando como rango de corte su promedio propio de -242.1971, no obstante, se generaron 3 productos nuevos con el objetivo de modificar los parámetros definidos en el producto 9 y obtener un mejor nivel de exactitud. Los resultados obtenidos reflejan una mejoría en el producto 12 el cual presenta una exactitud general de 87.26 %, tal y como se observa en la Tabla 12, utilizando como valor de corte su respectivo promedio de - 328.56, siendo los parámetros internos del producto aplicados en BFAST GPU los detallados en la Tabla 13, obteniendo de esta manera un producto óptimo para la verificación de campo y generación de material cartográfico y estadístico.

Tabla 12

Producto 12: Exactitud general

	<i>Usuario</i>			<i>Exactitud usuario</i>
	<i>Perdida</i>	<i>Sin Cambios</i>	<i>Total</i>	
<i>Perdida</i>	22	9	31	70.97%
<i>Sin cambios</i>	24	204	228	89.47%
<i>Total</i>	46	213	259	
<i>Exactitud producto</i>	47.83%	95.77%	Exactitud general	87.26%

Nota. Elaboración propia, 2023.

Tabla 13*Parámetros para la generación del producto 12*

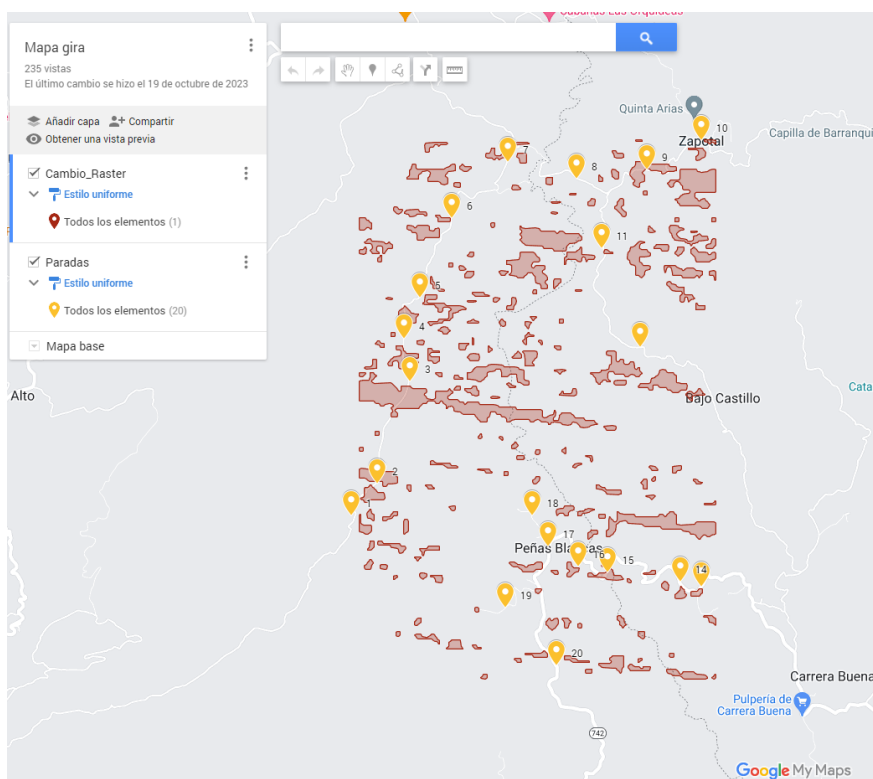
<i>Parámetro</i>	<i>Valor</i>
<i>Orden del término armónico (valor de h)</i>	5
<i>Fecha de monitoreo</i>	2009-2019
<i>Bandwith</i>	0.25
<i>Nivel de significancia</i>	0.975
<i>Backend</i>	OpenCL

Nota. Elaboración propia, 2023.

Por su parte, el trabajo de campo para la validación del producto se basó en la identificación de dinámicas de cambio en puntos de verificación con cambios actuales dentro del periodo en estudio (2017-2019) previamente identificados, es decir, un total de 20 puntos distribuidos dentro del refugio en áreas de cambio detectado, ya que serían los cambios que se podrían observar con mayor facilidad en campo, Figura 12. En estos se procedió a identificar señales de alteraciones en la cobertura de la tierra como: corta de árboles, construcción de edificaciones, alteraciones en los márgenes del río, introducción de especies exóticas, entre otros, los cuales se registraron en una ficha técnica con datos referentes a cada punto de verificación y fotografías por medio de sobrevuelos con UAV (vehículo aéreo no tripulado), (Anexo 1), generando un conocimiento del dinamismo territorial del refugio.

Figura 12

Trabajo de campo: Puntos de observación



Nota. Elaboración propia, 2023.

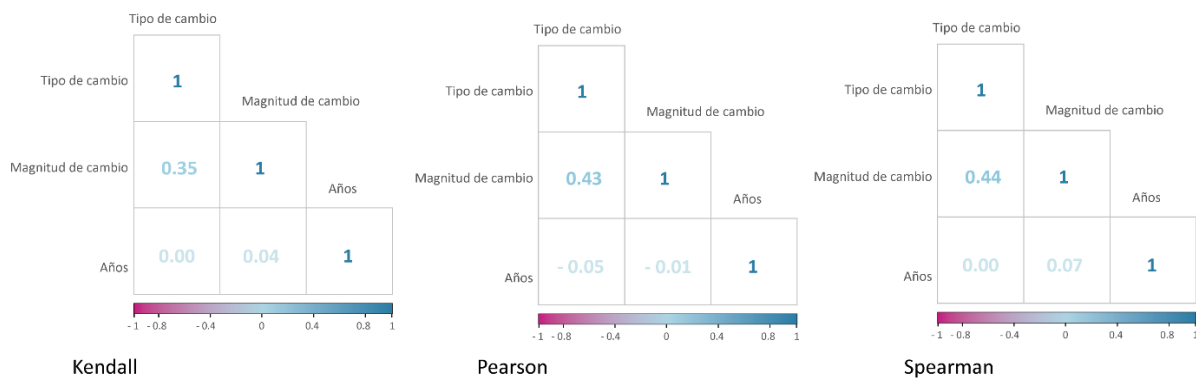
Los resultados del trabajo de campo reflejan un 80 % de proceso de verificación, dado que no se lograron verificar 4 puntos de los 20 establecidos (1,11,12 y 18) debido a problemáticas asociadas al acceso a estos como inexistencia de caminos, caminos bloqueados o ingreso privado, tal y como se observa en las imágenes del Anexo 2. No obstante, se procede a sobrevolar mediante el uso de un UAV en áreas cercanas, con el fin de obtener algún tipo de indicio sobre la cobertura actual de los puntos en cuestión. Finalmente, con la culminación del trabajo de campo se logra identificar tres dinámicas de cambio sobresalientes en el refugio, la cuales se detallarán en secciones posteriores del documento.

4.1.3. Análisis estadístico y espacial de los valores de NDVI obtenidos de la herramienta BFAST GPU

De acuerdo con los resultados, se identificaron un total de 157 puntos con cambio de cobertura de la tierra a partir del 2011 dado que el algoritmo los años 2009 y 2010 los establece como periodo para ajustar el modelo de regresión, es decir, un periodo de partida. Estos registran un promedio de magnitud de cambio de -328.56 y coeficientes de correlación entre las variables de magnitud, tipo de cambio y temporalidad que evidencian una correlación moderada entre el tipo de cambio y la magnitud del cambio, mientras que la relación entre la temporalidad y las otras variables es muy débil, tal como se muestra en el Gráfico 2. Resultados que indican que la magnitud no incrementa con el paso de los años, pero que sí que ciertos tipos de cambio están asociados con magnitudes específicas de cambio, aunque no necesariamente implica una relación causal. Asimismo, es importante destacar que los valores estadísticos de p altos indican que los datos no proporcionan suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula de ausencia de correlación significativa entre estas variables.

Gráfico 2

Matriz correlación entre variables de magnitud, tipo de cambio y temporalidad, según método



Nota. Elaboración propia, 2024.

Por otra parte, el análisis anual, en términos de magnitud de cambio, revela una serie de tendencias y características distintivas en la magnitud de cambio a lo largo de los años examinados, tal y como se observa en el Gráfico 3. En 2011, la mediana se posiciona hacia abajo, indicando una tendencia hacia valores más bajos en la magnitud de cambio, a

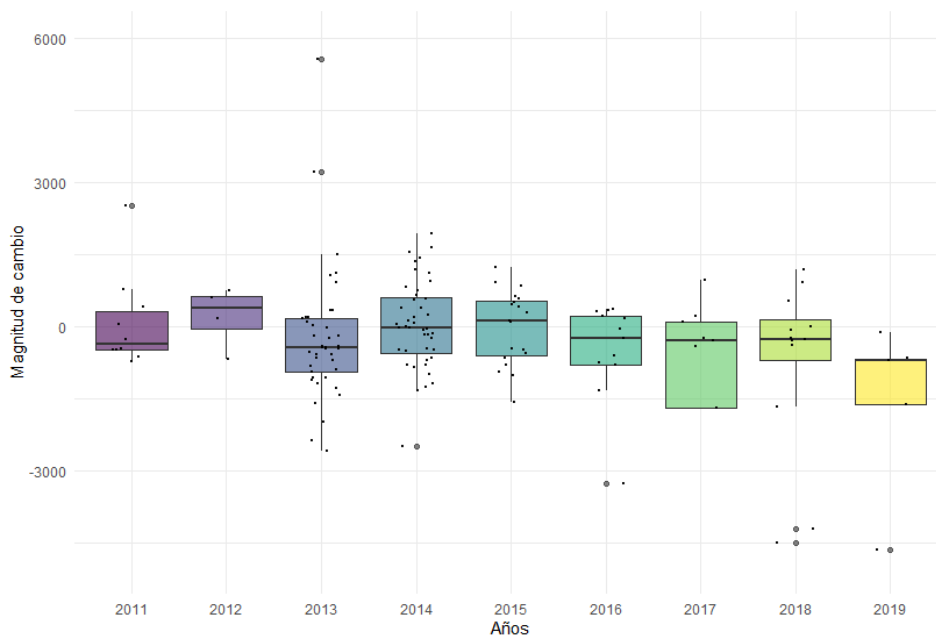
diferencia del 2012 donde se ubica más arriba. Ambos años presentan cajas anchas, sugiriendo una mayor dispersión de datos y variabilidad en la magnitud de cambio en comparación con otros períodos.

Los años 2013 y 2014 muestran notables cantidades de puntos de cambio, donde en el 2013 se registran valores atípicos positivos y, en el 2014, valores atípicos negativos significativos, posiblemente indicando la influencia de eventos adversos o extremos en la configuración del paisaje. En 2015, se observa una estabilidad relativa en la magnitud de cambio, mientras que en 2016 se continúa la tendencia hacia valores bajos con la presencia de valores atípicos negativos menores a - 5000.

En 2017, se destaca una mayor variabilidad en la magnitud de cambio con cajas más anchas y valores atípicos negativos muy significativos. En contraste, en 2018 se observa relativa estabilidad, con solo dos valores atípicos mayores a - 5000. Finalmente, en 2019, la mediana se posiciona hacia arriba, sugiriendo una tendencia hacia valores más altos de magnitud de cambio que la mediana registrada para este año. En resumen, el análisis del boxplot muestra una variedad de patrones, incluyendo cambios positivos, negativos, variabilidad y asimetrías en la distribución de los datos, proporcionando una comprensión más profunda de la evolución de la magnitud de cambio a lo largo del período estudiado.

Gráfico 3

Comportamiento anual de la magnitud de cambio (2011-2019)

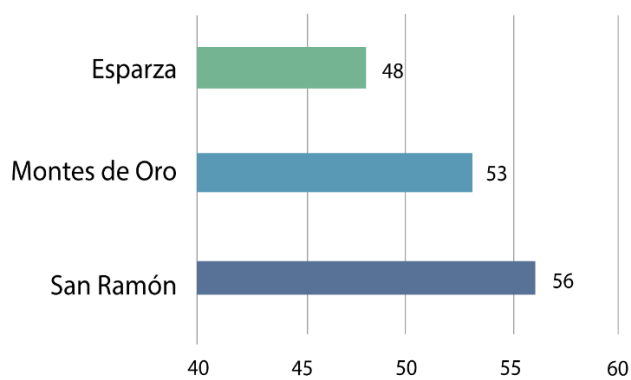


Nota. Elaboración propia, 2024.

En cuanto a la dinámica espacial, se observa una concentración significativa en el cantón de San Ramón, específicamente en el distrito de Zapotal, que representa el 56 % de los puntos identificados, el cual, a su vez, es el distrito con mayor extensión territorial dentro del refugio, con un total de 1025 hectáreas (Gráfico 4). Asimismo, en términos de área de cambio, se registra un total de 343 hectáreas afectadas, lo que representa aproximadamente el 14 % de la extensión total del refugio. Resultado que implica una pérdida importante de masa forestal, con repercusiones en procesos vitales como la fijación de carbono, la filtración del agua, la calidad del agua y la erosión del suelo, así como la degradación del hábitat para la fauna local.

Gráfico 4

Cantidad de puntos de cambio, según cantón

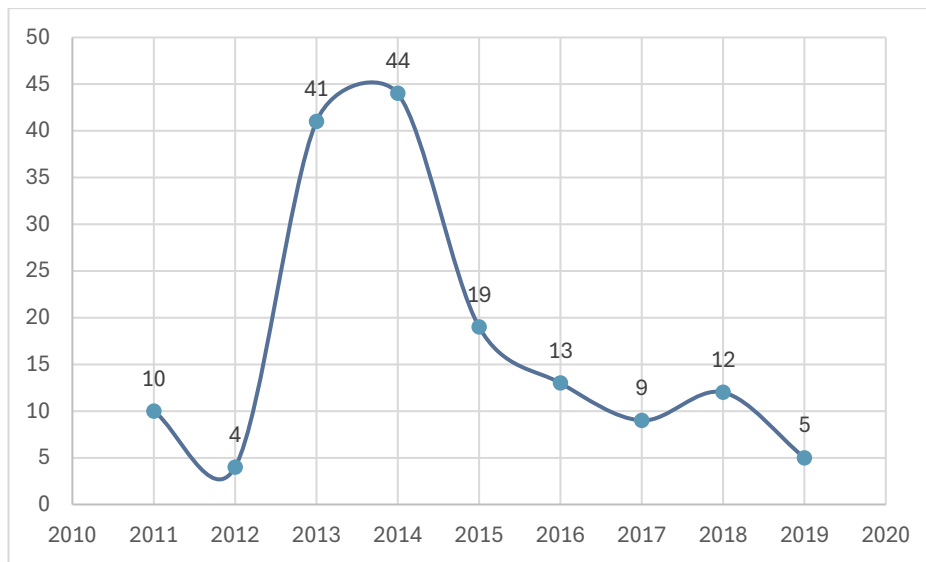


Nota. Elaboración propia, 2024.

Además, al analizar la temporalidad de los cambios detectados por el algoritmo BFAST, se observa que el 54 % de los puntos detectados con cambio ocurrieron entre los años 2013 y 2014, concentración temporal que sugiere períodos específicos de actividad o perturbación en el área de estudio, (Gráfico 5). Asimismo, se destaca la concentración de puntos de cambio en los últimos tres años del período de estudio, particularmente al norte del RNVS-PB, como se muestra en el Mapa 2, lo que podría indicar tendencias recientes en la dinámica del paisaje que requieren una mayor atención y seguimiento.

Gráfico 5

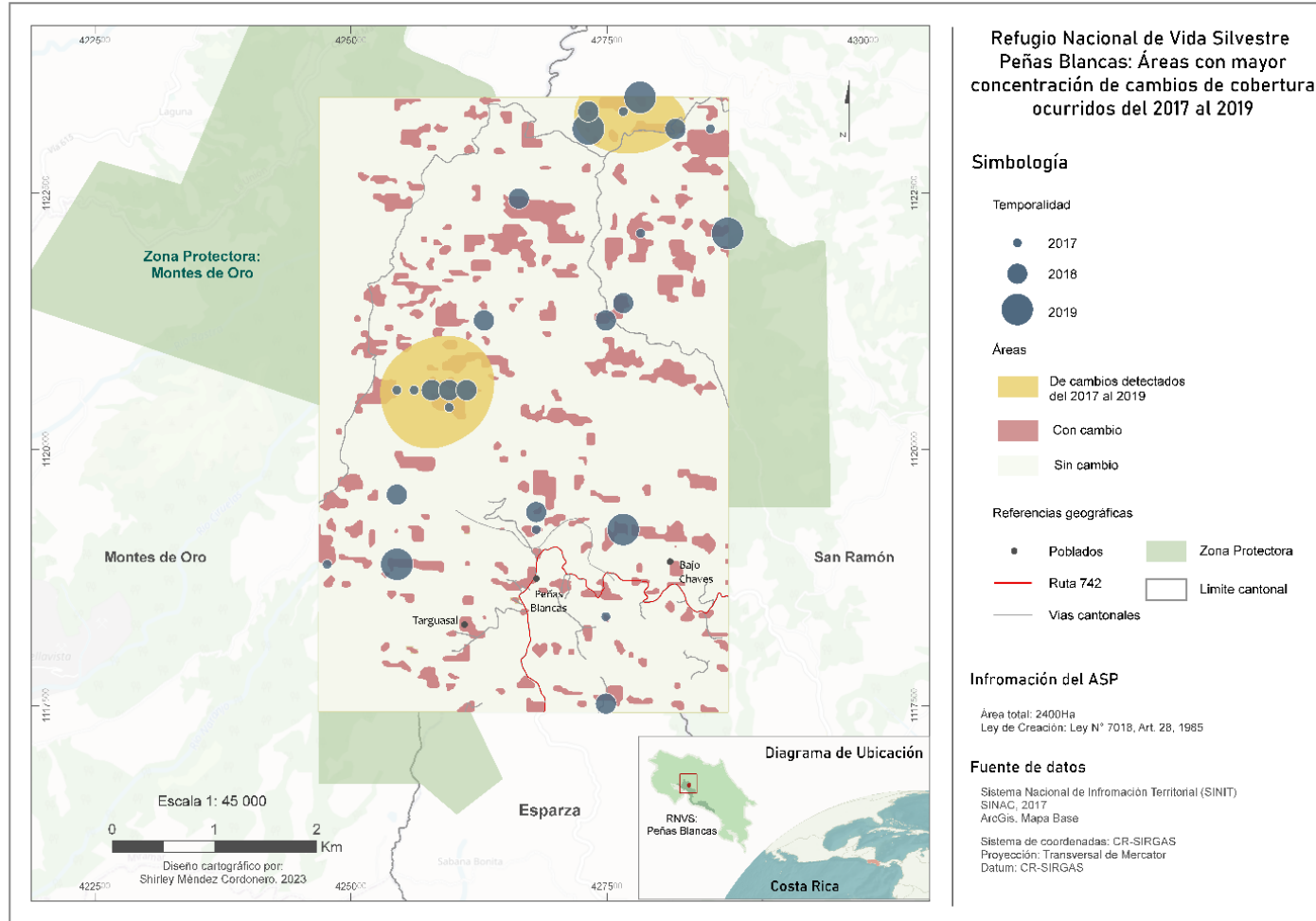
Cantidad de puntos de cambio, según año



Nota. Elaboración propia, 2024.

Mapa 2

Áreas con mayor concentración de cambios de coberturas de la tierra ocurridos del 2017 al 2019



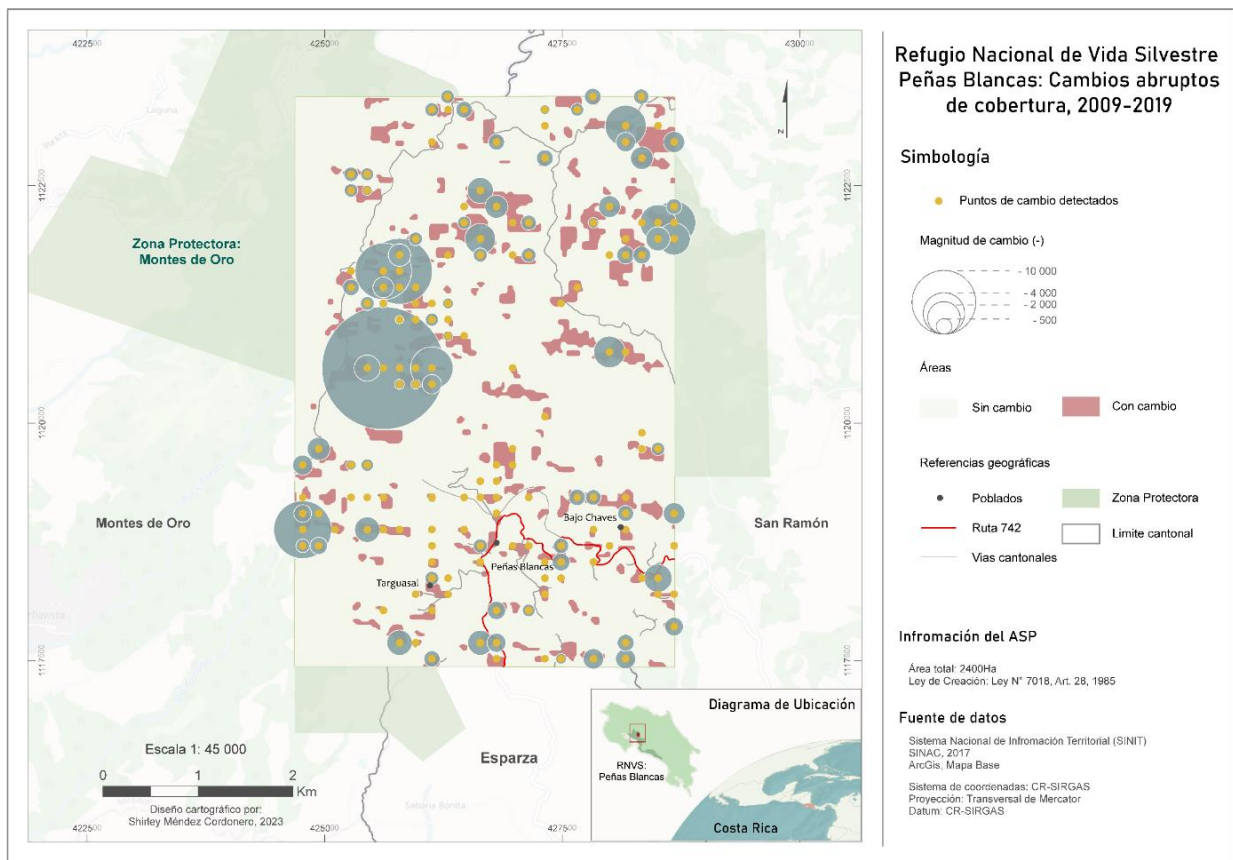
Nota. Elaboración propia, 2024.

4.2. Factores asociados a los cambios en la cobertura de la tierra.

El patrón o distribución espacial de la dinámica de cambio en el RNVS-PB se caracteriza por la aglomeración de puntos de cambio de cobertura de la tierra en zonas bajas, sin embargo, las concentraciones de puntos con mayor magnitud de cambio se ubican en áreas al norte del refugio, tal y como se muestra en la Mapa 3, lo cual se correlaciona con los cambios más recientes ocurridos en los últimos tres años del periodo de estudio (2017 – 2018 y 2019).

Mapa 3

Cambios abruptos principales de 2009 a 2019



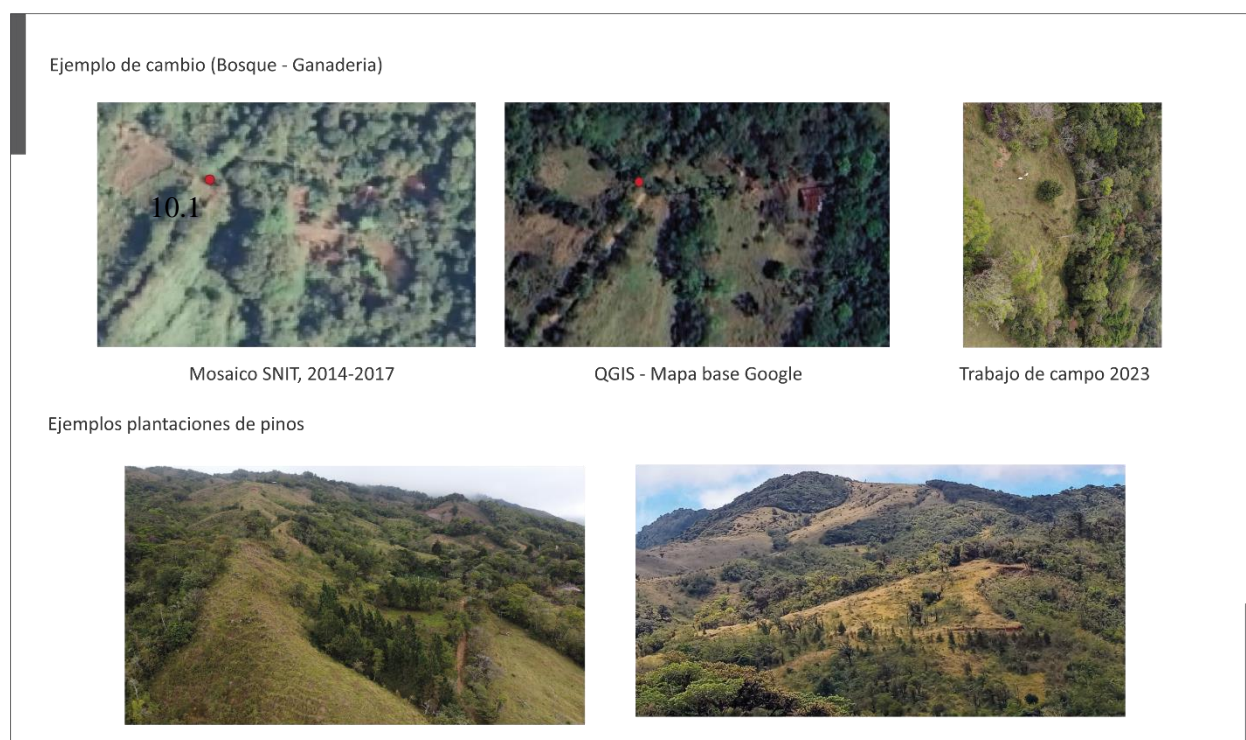
Nota. Elaboración propia, 2024.

En lo que corresponde a dinámicas de cambio en el refugio sobresalen principalmente tres dinámicas de cambio:

Cambio de bosque a pasto: dinámica que se observa principalmente en sectores al norte del refugio y está estrechamente ligada a la actividad ganadera. Esta transformación del paisaje es el resultado de un proceso de conversión de tierras forestales u otros usos de la tierra en pastizales destinados al pastoreo del ganado, así como de la introducción de especies exóticas como lo son los pinos, (Figura 13 y Gráfico 6). Asimismo, ante la pregunta, "¿Ha notado cambios significativos en la cobertura de la tierra en la zona en los últimos 10 años?", Roxana Arroyo Soto, dueña del restaurante Peñas Blancas, respondió que "mucho de los terrenos de la zona fueron convertidos en áreas de pasto para ganado", lo que refuerza aún más esta observación. No obstante, cabe mencionar que, el acceso a estas zonas es restringido, debido al estado de los caminos, lo que representa un desafío en términos de monitoreo.

Figura 13

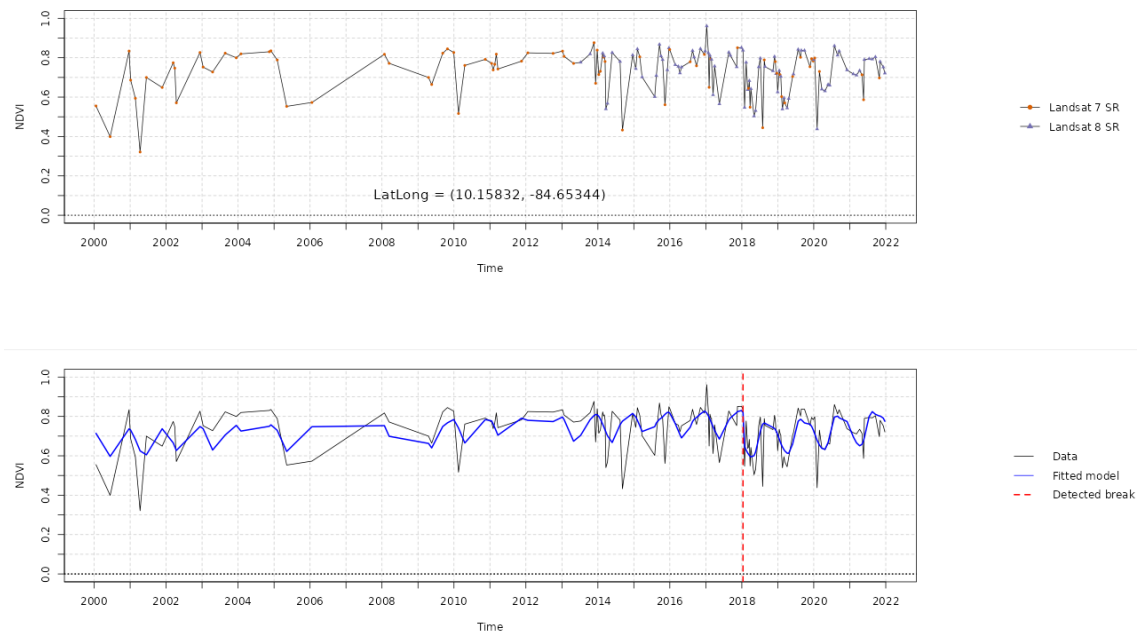
Refugio Nacional de Vida Silvestre Peñas Blancas: Ejemplo de cambios de bosque a pasto



Nota. Elaboración propia, 2024.

Gráfico 6

Valores de NDVI del punto de verificación 10.1



Nota. Elaboración propia, 2024.

Crecimiento de infraestructura: se identifica en la zona al sur del refugio, donde se localizan poblados como Peñas Blancas, Bajo Chaves y Targusal. Este crecimiento se ve influenciado por procesos como el crecimiento natural de la población durante el periodo de estudio (2009-2019). Situación que implica un aumento de viviendas y ampliación de infraestructura social como escuelas, iglesias, plazas, etc. Sin embargo, también se identifica en el refugio una expansión urbana que carece de una planificación urbana adecuada, lo que conlleva la construcción en áreas vulnerables, como los márgenes de los ríos, aumentando el riesgo de desastres naturales. Esta situación se ratifica mediante la vista a trabajo de campo, así como en las entrevistas realizadas a 8 miembros de la comunidad, donde se menciona la preocupación por la construcción en áreas inadecuadas, tales como zonas de deslizamientos y márgenes de ríos. Dinámicas que se visualizan en la Figura 14 y los Gráficos 7 y 8 donde se analizan los datos de NDVI correspondientes al punto 13 (construcción en márgenes del cauce del río Jabonal) y 17 (infraestructura social) con puntos de quiebre a finales de 2016 y 2018.

Figura 14

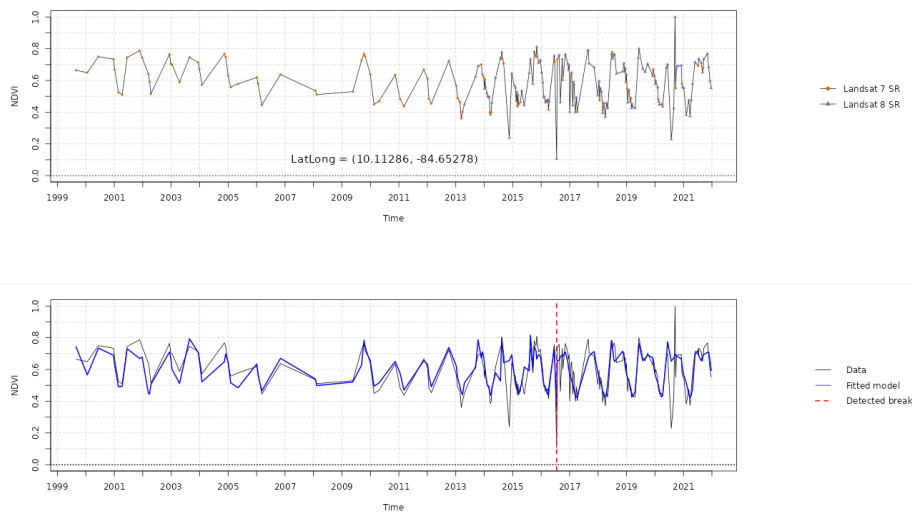
Refugio Nacional de Vida Silvestre Peñas Blancas: Ejemplo de cambios de crecimiento de infraestructura



Nota. Elaboración propia, 2024.

Gráfico 7

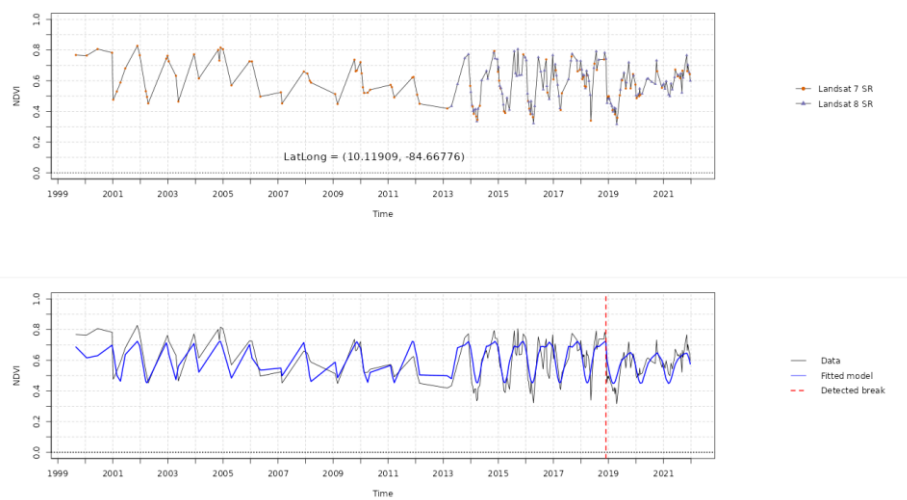
Valores de NDVI del punto de verificación 13



Nota. Elaboración propia, 2024.

Gráfico 8

Valores de NDVI del punto de verificación 17



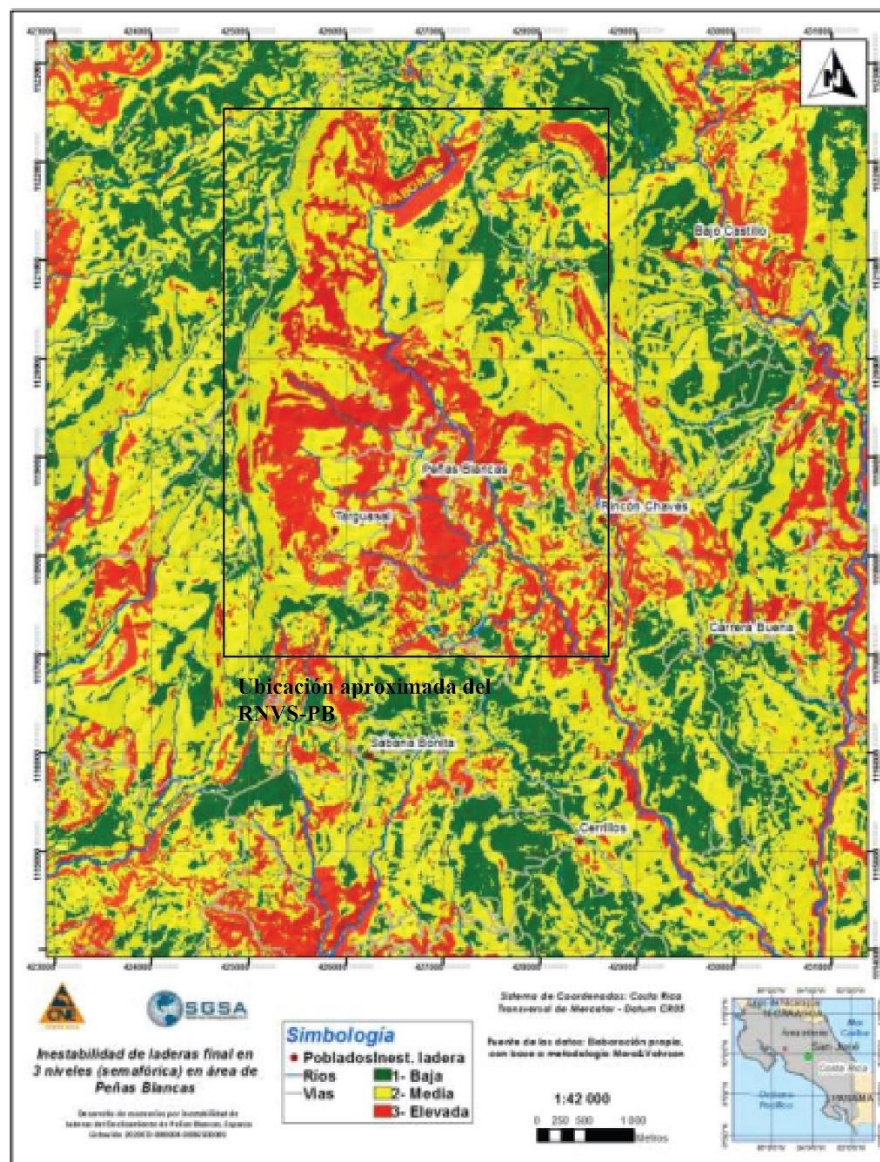
Nota. Elaboración propia, 2024.

Cambios asociados a procesos naturales: los cuales son impulsados por las características geológicas e hídricas propias del refugio. Entre estos procesos se destacan los deslizamientos, favorecidos por la presencia de fallas geológicas (J. Saborío, comunicación personal, 27 de febrero de 2023), así como las desviaciones del cauce del río Jabonal, aspectos que se confirman si analizamos la base de datos de DesInventar, herramienta que ayuda a analizar las tendencias de los desastres y sus impactos, los cuales muestran un registro de 21 eventos durante el periodo 2009 – 2019, es decir, un promedio de 2 eventos anuales, en los distritos de Zapotal (San Ramon), San Jerónimo (Esparza) y Montes de Oro (Miramar), siendo este último el distrito con mayor registro de eventos con el 62 %; y los sucesos con mayor frecuencia que han ocasionado daños: Inundación (33 %), Deslizamiento (19 %) y Vientos Fuertes (19 %).

Aspecto que se expresa de una forma más visual en el Mapa 4 de Inestabilidad de laderas, desarrollado por Saborío, Soto y Mora en el año 2020, donde se muestra una inestabilidad de ladera alta en la mayoría del área correspondiente al refugio, así como en la Figura 15 y Mapa 5 que muestran los cambios asociados a procesos naturales identificados por el algoritmo y que según el 62 % de las personas entrevistadas la principal causa del cambio de coberturas de la tierra en la zona son los deslizamientos, (Gráfico 9). Lo que refleja el impacto significativo de fenómenos naturales en la configuración del paisaje y la conectividad ecológica del refugio.

Mapa 4

Inestabilidad de laderas para el área de Peñas Blancas



Nota. Adaptado con datos de Saborío, Soto y Mora, 2020.

Figura 15

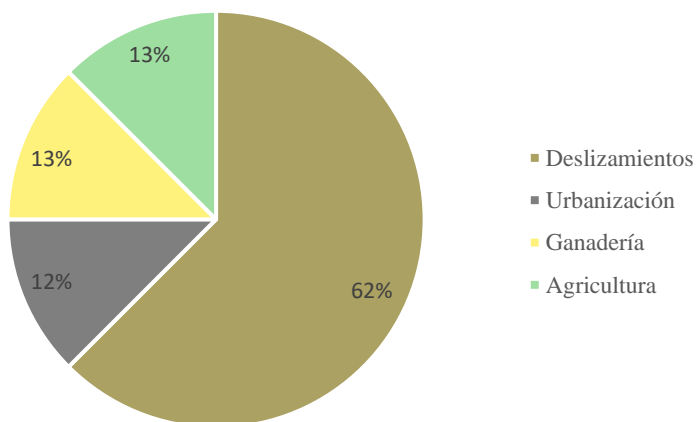
Refugio Nacional de Vida Silvestre Peñas Blancas: Ejemplo de cambios asociadas a procesos naturales



Nota. Elaboración propia, 2024.

Gráfico 9

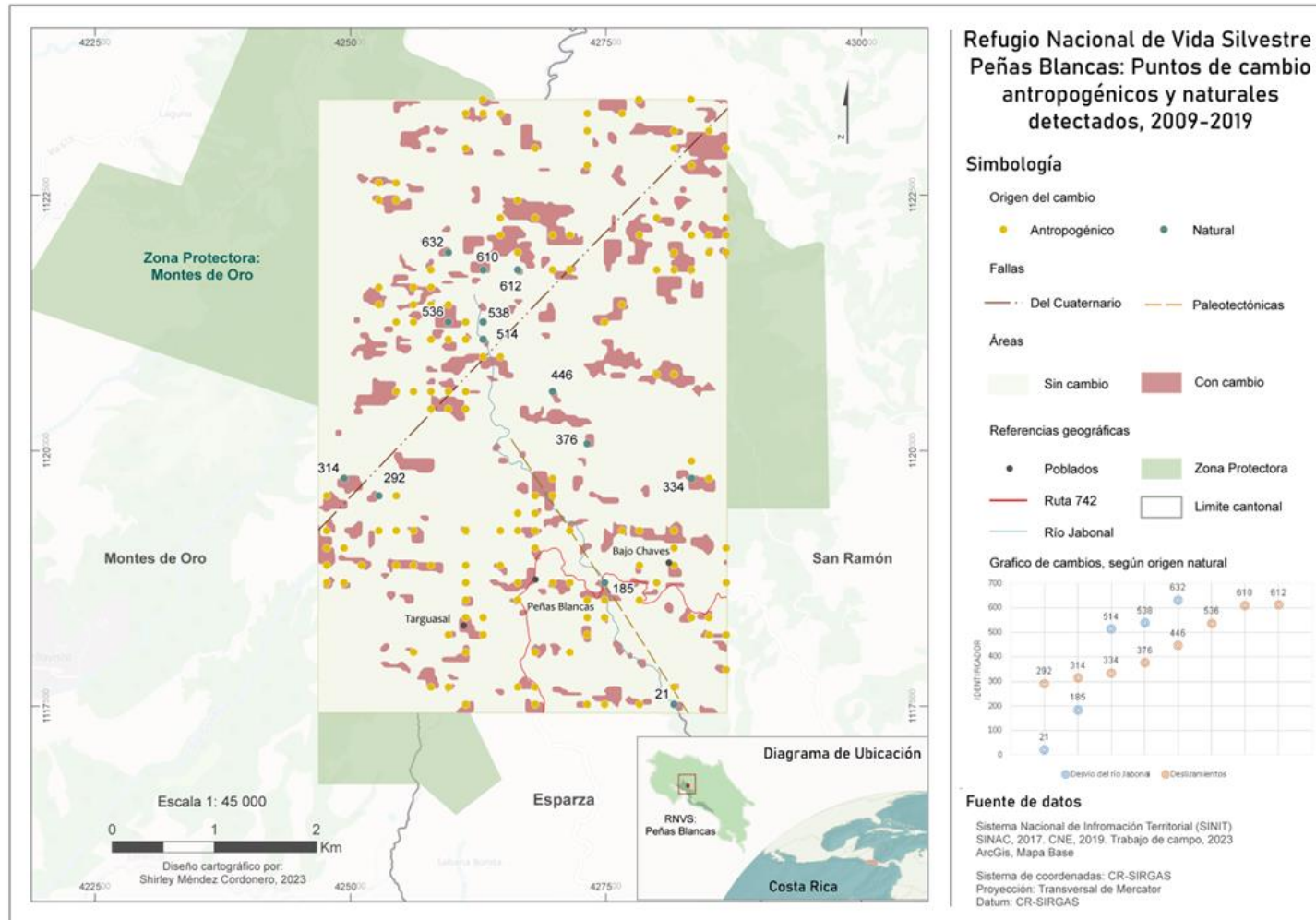
Percepción sobre el factor principal de cambio de coberturas de la tierra en RNVS-PB, según entrevista a actores claves de la zona de Peñas Blancas, Esparza



Nota. Elaboración propia, 2024.

Mapa 5

Puntos de cambios asociados a procesos naturales

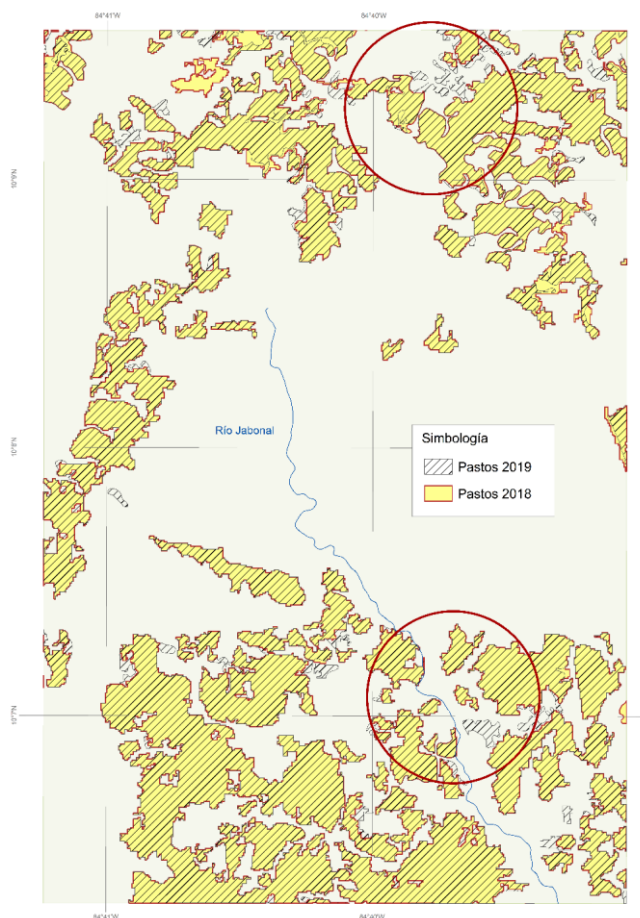


Nota. Elaboración propia, 2024.

Finalmente, en términos de porcentaje se obtiene que la dinámica de cambio asociada al cambio de bosque a pasto es la que mayor impacto tiene dentro del RNVS-PB, ya que representa el 73 % de los puntos de cambio detectados, seguido de cambios asociados al crecimiento de infraestructura con un 19 % y por último cambios asociados a procesos naturales 8 %. Situación que también se refleja si comparamos los datos de cobertura de pasto para 2018 y 2019 generados por el proyecto “Monitoreo de Cambio de Uso en Paisajes Productivos (MOCCUPP)”, donde la cobertura de pasto pasó de 663 hectáreas en 2018 a 689 hectáreas en 2019, lo que significó un aumento de 26 hectáreas en cobertura de pasto dentro del refugio, específicamente al norte del refugio y en la parte sur en las cercanías del río Jabonal, coincidiendo con las dinámicas detectadas por el algoritmo y trabajo de campo.

Figura 16

Cambios en la cobertura de pastos en los años 2018 y 2019



Nota. Elaboración propia con datos del proyecto MOCCUPP, 2024.

4.3. Recomendaciones de ordenamiento territorial vinculable a la zonificación de ASP

En el marco de la presente investigación, se han identificado importantes cambios en la cobertura de la tierra dentro del Refugio Nacional de Vida Silvestre Peñas Blancas (RNVS-PB) durante el período comprendido entre 2009 y 2019. Estos cambios, que abarcan desde la conversión de áreas de bosques a pastizales hasta el crecimiento de infraestructura urbana, plantean desafíos significativos para la conservación de la biodiversidad y la integridad ecológica de esta área protegida. En respuesta a estos hallazgos, se presenta a continuación una serie de recomendaciones, en términos generales, de ordenamiento territorial vinculadas a la zonificación de ASP, diseñadas para orientar las acciones de gestión y protección del RNVS-PB, con el fin de promover la conservación de los recursos naturales en armonía con las necesidades de las comunidades locales y el desarrollo socioeconómico de la región. Además, es importante mencionar que el único insumo disponible para el área de estudio en términos de zonificación es lo realizado por la CNE, el cual está relacionado con el establecimiento de una microzonificación de deslizamientos.

Con base en el documento “Guía para el diseño y formulación del Plan General del manejo de las áreas de vida silvestres protegidas de Costa Rica”, desarrollado por el SINAC, se plantean las siguientes líneas generales en cuanto a la ubicación dentro del RNVS-PB de las categorías de zonas que en estos documentos se plantean (Tabla 14), tomando como puntos de referencias el objetivo principal del refugio “*proteger fuentes hidrográficas y los animales silvestres que habitan en este*”, así como los potenciales elementos focales de manejo (EFM) como los fuentes de agua, vida silvestre principalmente mamíferos, avifauna y formaciones geológicas.

Tabla 14*Tipo de zona y localización propuesta para el RNVS-PB*

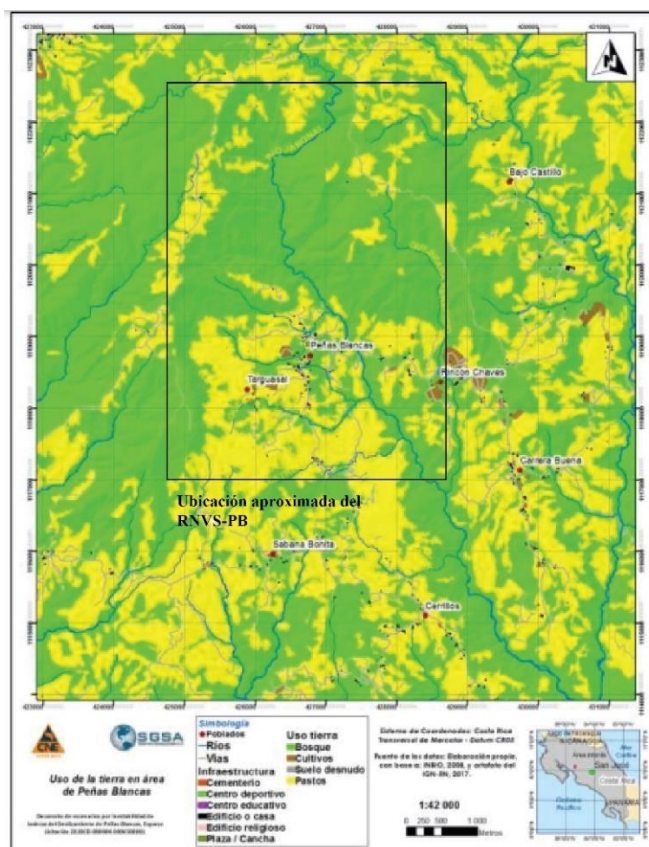
<i>Zona</i>	<i>Objetivo</i>	<i>Área propuesta</i>
<i>Zona de mínima intervención</i>	Protección absoluta, la investigación (con autorización de la administración) y al uso administrativo (Puestos de control)	Zona alta y puesto de control en las cercanías de la comunidad de Zapotal
<i>Zona de baja intervención</i>	Preservar la naturalidad o promover la recuperación de áreas.	Zona media alta del refugio, con una inestabilidad de laderas alta y afloramientos de ignimbrita.
<i>Zona de mediana y alta intervención</i>	Crear espacios donde se fomenten formas de aprovechamiento de recursos no extractivos, con un control definido, donde se permita el desarrollo de prácticas y actividades de alta intervención mediante técnicas sostenibles.	Zona baja, con una inestabilidad de laderas alta y puesto de control en las cercanías de la comunidad de Peñas Blancas
<i>Zona de amortiguamiento</i>	Reducir las fuentes de presión en las inmediaciones del área protegida.	Limite norte del refugio y márgenes del río Jabonal al sur este

Nota. Elaboración propia, 2024.

Zona mínima de intervención: su posible localización sería al norte del refugio el cual se caracteriza por la presencia de bosque (Mapa 6) con capacidades de uso VIII y VII y caminos de tierra que proporcionan acceso a pocos usuarios, donde no se permitiría la deforestación de la cobertura vegetal y la extracción de especies, así como la contaminación de afluentes hídricos. Además, es fundamental establecer puestos de control en las cercanías de la comunidad de Zapotal, así como sistemas de monitoreo comunitarios, dada la carencia de funcionarios del SINAC, para prevenir las actividades que caza furtiva, la tala, extracción de especies y otras actividades ilegales que amenacen la integridad del ecosistema del RNVS-PB, dado a que en este sector se ha observado una alta intensidad de cambio de bosque a pasto.

Mapa 6

Uso de la tierra para el área de Peñas Blancas



Nota. Adaptado con datos de Saborío, Soto y Mora, 2020.

Zona de baja intervención: su posible localización sería en la parte media del refugio el cual se caracteriza por la presencia de terrenos inestables, afloramientos de ignimbrita y capacidades de uso VII, VI y V, donde se promueva el pago de servicios ambientales con el fin de contribuir a la recuperación de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos clave, así como la captura de carbono, la regulación hidrológica y reforestación con el fin de mejorar la conectividad ecológica del refugio. No obstante, es importante establecer normativas claras para regular las actividades humanas como la ganadería de bajo impacto vinculada a la producción familiar dentro de estas zonas y garantizar la conservación de los recursos naturales.

Zona de mediana y alta intervención: Estas áreas están destinadas para actividades recreativas y educativas que no pongan en riesgo la biodiversidad. Las cuales se localizaron los principales centros poblados del refugio como la comunidad de Peñas Blancas, Targusal y Zapotal, (Fotografía 1), aquí se pueden apoyar iniciativas de turismo sostenible o de bajo impacto como senderos naturales o miradores, así como pagos por servicios ambientales o acciones de recuperación en las áreas de protección de ríos, cultivos agrícolas, ganadería.

Fotografía 1

Zona baja del RNVS-PB

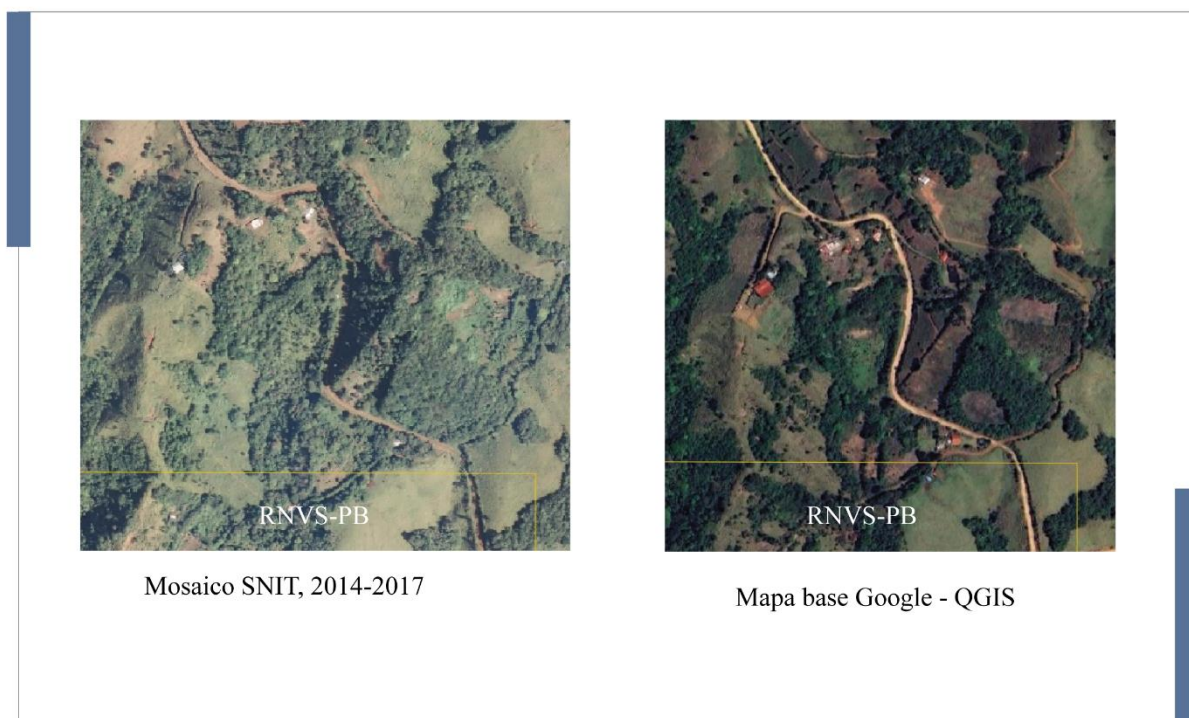


Nota. Tomada el 6 de febrero del 2023.

Zonas de Amortiguamiento: Estas áreas circundan los núcleos de conservación y tienen como objetivo proteger las áreas centrales de impactos externos como la urbanización, la agricultura intensiva y la deforestación. Se pueden permitir ciertas actividades de uso sostenible, como la agricultura de subsistencia, siempre y cuando no comprometan la integridad del ecosistema, por lo tanto, se recomienda realizar acciones prioritarias en las comunidades ubicadas al norte del refugio (Zapotal), (Figura 17), vinculadas a la ganadería y agricultura sostenible como método de producción alternativa al tradicional y áreas en los márgenes del río Jabonal donde se identificó procesos de deforestación.

Figura 17

Ejemplo del dinamismo en las áreas colindantes al norte del refugio



Nota. Elaboración propia, 2024.

Finalmente, como parte de un proceso de zonificación exitoso, es crucial fomentar la participación activa de las comunidades y de actores e instituciones clave, como la CNE (Comisión Nacional de Emergencia) con su estudio sobre "Desarrollo de escenarios por inestabilidad de laderas en el área de Peñas Blancas, Esparza", con el fin de visualizar de manera oportuna el dinamismo del refugio, dada la alta inestabilidad de laderas presentes en la zona, y establecer de manera oportuna las categorías de zonificación, donde se promueve la conservación y el desarrollo sostenible a través de actividades eco-turísticas. No obstante, la investigación también evidencia la necesidad urgente de mejorar la promoción y visibilización del refugio, dado que carece de personal del SINAC y de letreros informativos dentro de este, aspectos que afectan en labores como el monitoreo de amenazas dentro del refugio y la visitación al refugio.

5. CONCLUSIONES

La aplicación del algoritmo BFAST utilizando los valores de NDVI ha demostrado una exactitud general del 87.26 % en la detección de pérdida de cobertura de la tierra en el Refugio Nacional de Vida Silvestre Peñas Blancas. Configurado con parámetros internos ajustados al comportamiento del área de estudio y un valor de corte promedio de -328.56, este método proporciona un producto óptimo para la verificación de campo y la generación de material cartográfico y estadístico. Los resultados validan su eficacia como una herramienta confiable para monitorear cambios en la cobertura de la tierra, lo que permite un análisis más exhaustivo del dinamismo de cambio y por ende la toma de medidas precisas y oportunas en la conservación del área protegida.

En relación con el análisis espacial de los datos recopilados, el estudio indica que el patrón del comportamiento espacial de la dinámica de cambio en el Refugio Nacional de Vida no es homogéneo ni aleatorio, dado que se encuentra influenciado principalmente por actividades económicas. Por ejemplo, se observa que las áreas con cambios abruptos están estrechamente relacionadas con la actividad ganadera, cuyo acceso se ve limitado por la falta de infraestructura vial adecuada. Situación que subraya la necesidad urgente de mejorar la infraestructura de transporte en la zona para facilitar el monitoreo y la implementación de medidas de conservación en el refugio.

Asimismo, a pesar de que el porcentaje de cambio en términos de área sea bajo (1 4%, es decir 343 ha), esto representa una pérdida significativa de cobertura forestal en el refugio. Esta pérdida tiene impactos importantes en procesos ecológicos como la fijación de carbono, la filtración del agua, la calidad del agua y la erosión del suelo, así como en la pérdida de hábitat para la fauna existente en el refugio. Por tanto, se recomienda un monitoreo continuo de estas áreas y el desarrollo de convenios para capacitar a la población en prácticas de ganadería regenerativa y servicios de pagos ambientales para mitigar estos impactos.

Además, se sugiere que futuras investigaciones en el área de estudio analicen el impacto de la pérdida de cobertura forestal en las especies de flora y fauna que habitan en el refugio. Donde se fomente la implementación de acciones que impulsen un sentido de pertenencia en las comunidades locales, lo que podría promover un modelo de gestión compartida y participativa.

Por otra parte, en términos de zonificación de áreas protegidas, se debe considerar

que este proceso debe ser dinámico, adaptándose a los cambios en el entorno natural y las necesidades de conservación. Donde se enfatice la importancia de realizar evaluaciones periódicas para monitorear el estado de los ecosistemas y ajustar las estrategias de manejo según sea necesario, considerando siempre la participación activa de la comunidad en las diferentes fases del proceso de zonificación.

Asimismo, en términos de gestión y zonificación del RNVS-PB, es importante integrar activamente al gobierno local en conjunto con el Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC) y la Comisión Nacional de Emergencias de Costa Rica para abordar los desafíos identificados en este estudio. La colaboración interinstitucional puede facilitar el monitoreo continuo y promover la capacitación de la población en prácticas de ganadería regenerativa y servicios de pagos ambientales. Donde un enfoque de gestión compartida y participativa puede llegar a fortalecer el sentido de pertenencia de las comunidades locales, lo cual es esencial para un manejo efectivo del refugio.

Además, es importante destacar que durante el proceso de realización de la investigación para el año 2023 se iniciaron acciones para incorporar el Refugio Nacional de Vida Silvestre Peñas Blancas a la Zona Protectora Montes de Oro. Sin embargo, debe verse como una oportunidad de mejora en cuanto a la orientación para futuras acciones de conservación y estudios en la nueva zona protectora. De hecho, los hallazgos y recomendaciones de este estudio son relevantes y pueden servir como punto de partida para abordar los desafíos de conservación en el contexto de la nueva Zona Protectora Montes de Oro.

6. RECOMENDACIONES

Finalmente, se recomienda complementar el algoritmo BFAST con otros métodos de detección de cambios, como CCDC (Continuous Change Detection and Classification), para aprovechar las fortalezas de cada enfoque y optimizar los resultados obtenidos. Asimismo, es aconsejable considerar el uso de imágenes de satélites como Sentinel, que ofrecen una resolución espacial y temporal superior en comparación con Landsat 7 y 8, así como la aplicación del algoritmo en plataformas como Google Earth Engine (GEE) o para la comparación de resultados.

De igual forma, en términos de aplicación del algoritmo BFAST en un contexto nacional, se sugiere su utilización en el monitoreo de áreas quemadas, lo que permitiría evaluar la regeneración del terreno en términos de ganancia de cobertura vegetal. Además, su aplicación en zonas deforestadas es crucial, ya que la detección oportuna de cambios es fundamental para la conservación de ecosistemas y la gestión de recursos naturales. Esto permitiría a las autoridades y organizaciones estatales tomar decisiones informadas y oportunas, mitigando así el impacto de estos eventos y asegurando un manejo más efectivo y sostenible de las áreas protegidas en Costa Rica.

La aplicación del algoritmo BFAST en el análisis de cambios de cobertura terrestre es una herramienta valiosa para la Geografía, ya que permite monitorear dinámicas espaciales y temporales de manera eficiente. Su capacidad para detectar tanto cambios abruptos como graduales en la cobertura de la tierra facilita el entendimiento de procesos ecológicos complejos y contribuye a la gestión sostenible de recursos naturales. A medida que la investigación geográfica avanza, se han desarrollado herramientas que permiten aprovechar el creciente volumen de datos geospaciales, lo que fortalece la capacidad de generar insumos cruciales para la formulación de políticas y estrategias de ordenamiento territorial. Esto, a su vez, promueve prácticas de conservación más efectivas que involucran a las comunidades locales, reforzando el vínculo entre la ciencia geográfica y la gestión del territorio.

7. LIMITACIONES

La escasa literatura específica sobre la aplicación del algoritmo BFAST en la detección de cambios en la cobertura de la tierra en la región de Centroamérica y específicamente en Costa Rica implica una menor cantidad de estudios previos y datos comparativos locales disponibles para validar y contextualizar los resultados obtenidos. La falta de estudios regionales específicos puede dificultar la identificación de patrones y tendencias locales precisas, así como la adaptación del algoritmo a las particularidades ecológicas y socioeconómicas de la región. Para abordar esta limitación, es importante fomentar investigaciones adicionales en Centroamérica que utilicen BFAST, lo cual ayudaría a robustecer la base de conocimientos y a mejorar la precisión de los parámetros internos del algoritmo y relevancia de los análisis futuros, esto dado que los paisajes en Centroamérica pueden ser extremadamente complejos debido a la diversidad de ecosistemas, lo que puede dificultar la interpretación de los cambios detectados por el algoritmo.

Añadido a lo anterior, es necesario mencionar que BFAST es un algoritmo más efectivo en la detección de cambios abruptos y significativos. Sin embargo, muchos cambios en la cobertura de la tierra son graduales y sutiles, pero igualmente importantes para la dinámica ecológica y el uso de la tierra. Por lo tanto, se recomienda ajustar y complementar BFAST con otros métodos de análisis como: modelos ecológicos de paisaje que evalúan los impactos de diferentes escenarios de uso del suelo y cambio climático en la cobertura de la tierra, así como la combinación con otros algoritmos de cambio, lo cual permitirá tener mayor certeza en la identificación tanto de cambios significativos como no significativos; brindando así una visión completa y precisa de los cambios en la cobertura de la tierra.

Asimismo, BFAST es un algoritmo cuyo desarrollo es específico para su utilización en R, por lo que su adaptación a otras plataformas, como SEPAL, puede requerir de un incremento respecto a parámetros que mejoren su sensibilidad y funcionalidad, esto con el fin de mejorar su funcionamiento en áreas con coberturas de la tierra que no son homogéneas. Además, la opción de utilizar en la plataforma de Google Earth Engine (GEE) puede ser una opción atractiva, ya que este ofrece una infraestructura sólida y herramientas avanzadas de análisis espacial que podrían potenciar el rendimiento y la eficacia de BFAST en la detección de cambios en la cobertura de la tierra.

En cuanto al área de estudio, la literatura existente sobre el Refugio Nacional de Vida

Silvestre de Peñas Blancas (RNVS-PB), en términos de usos y coberturas de la tierra, es notablemente escasa, lo cual representa una significativa limitación para los estudios en esta área. Hasta la fecha, solo destacan dos estudios clave: el documento elaborado en 2011 por la Universidad Nacional (UNA) para el plan regulador de Esparza, que aborda parcialmente el área del refugio, y el informe de Saborío, Soto y Mora en el año 2020 sobre el desarrollo de escenarios por inestabilidad de laderas en el área de Peñas Blancas, Esparza. Esta carencia de información dificulta la obtención de una visión inicial clara sobre los usos y coberturas de la tierra en el área de estudio, lo que a su vez dificulta la precisión del cálculo de las muestras de campo necesarias para la validación en campo de los resultados.

Por otra parte, en cuanto al trabajo de campo destacan limitaciones como la escasez de personal del SINAC en el RNVS-PB y de recursos como rotulación sobre la vida silvestre, zonas de deslizamiento, entre otros, aspectos en los que concuerdan las personas entrevistadas. De esta manera, la falta de recursos humanos y rotulación puede dificultar la recolección de datos oportunos sobre los cambios en la cobertura de la tierra en esta área protegida in situ y la percepción sobre estos por parte de responsable del refugio. No obstante, para contrarrestar esta limitación se realizó una entrevista con el Ing. Javier Saborío Bejarano el cual realizó el estudio para la CNE titulado “Desarrollo de escenarios por inestabilidad de laderas en el área de Peñas Blancas, Esparza”, así como la entrevista a ocho actores claves de la comunidad de Peñas Bancas, Esparza, los cuales forman parte del comité de deportes, comité comunal de emergencias o trabajadores en lugares de relevancia de la zona como el restaurante Peñas Blancas y la pizzería Kalangas.

Finalmente, en el proceso de validación de los datos en campo sobresalen las dificultades de acceso en ciertas áreas del Refugio de Vida Silvestre Peñas Blancas. Esta limitación impidió el reconocimiento completo del dinamismo de estas áreas y la imposibilidad de completar el proceso de verificación en un 100 %. Sin embargo, para abordar esta limitación, se implementó el uso de un UAV con el fin de obtener información detallada de estos sitios inaccesibles. Esta estrategia fue crucial, especialmente porque estas áreas coinciden con zonas donde se han observado cambios recientes vinculados con actividades ganaderas. Aunque el uso del UAV ayudó a superar parcialmente la limitación de acceso, aún existe la posibilidad de que algunos aspectos del dinamismo de estas áreas in situ no se hayan capturado completamente.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acuña-Piedra, J. F., & Quesada-Román, A. (2017). Cambios en el uso y cobertura de la tierra entre 1948 y 2012 en el Humedal Nacional Térraba-Sierpe, Costa Rica. *Revista Ciencias Marinas y Costeras*.
- Asamblea Legislativa. (1985). Ley N° 7018. Ley de Presupuesto 1986. Artículo 28. *Diario Oficial La Gaceta*. San José, Costa Rica, 26 de diciembre de 1986.
- Astorga, A. (2018). Ordenamiento ambiental del territorio: situación y perspectivas en Costa Rica. *Informe Estado de La Nación en Desarrollo Humano Sostenible 2018*.
- Barrantes, R. (2014). *Investigación: un camino al conocimiento, a un enfoque cuantitativo, cualitativo y mixto*. San José, Costa Rica: UNED.
- Barrantes-Sotela, O., & Sandoval-Murillo, L. (2016). USO/COBERTURA DE LA TIERRA EN LOS CANTONES DE UPALA, GUATUSO Y LOS CHILES EN EL AÑO 2011. *Revista Geográfica De América Central*, 1(56), 59-91. <https://doi.org/10.15359/rgac.1-56.3>
- Beget, M.E.; Mari, N.; Veron, S.; Fischer, M.A.; Bella, C.M. Di y Posse, G. (2008). La teledetección como herramienta para la prevención, seguimiento y evaluación de incendios e inundaciones. *Ecosistemas*, 17(3),39-52. [fecha de Consulta 14 de Mayo de 2022]. ISSN: 1132-6344. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=54017106004>
- Ben Abbes, A., Bounouh, O., Farah, I. R., de Jong, R., y Martínez, B. (2018). Comparative study of three satellite image time-series decomposition methods for vegetation change detection. *European Journal of Remote Sensing*. <https://doi.org/10.1080/22797254.2018.1465360>
- Benavides-Varela, C., Samper-Villarreal, J., y Cortés, J. (2016). Cambios en la cobertura de manglares en Bahía Culebra, Pacífico Norte de Costa Rica (1945-2010). *Revista de Biología Tropical*. <https://doi.org/10.15517/rbt.v64i3.21464>
- Bertsch, F. (2006). El recurso tierra en Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 30, 133-156.
- Buzai, G. D. (2012). Geografía y Sistemas de Información Geográfica Evolución Teórico

Metodológica Hacia Campos Emergentes. *Revista Geográfica de América Central*, 2(48E), 15-67.

<https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica/article/view/4007>

Caballero Cruz, P., & Treviño Garza, E. J. (2018). Análisis de la pertinencia de las plantaciones forestales en Oaxaca. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 9(50), 400-414.

Cabido, M., Zak, M., Cingolani, A., Cáceres, D y Díaz, S. (2005). *¿Cambios en la cobertura de la vegetación del centro de Argentina? Factores directos o causas subyacentes. La heterogeneidad de la vegetación de los agroecosistemas*. Editorial Facultad de Agronomía. Buenos Aires. Argentina.

Camacho-Sanabria, J. M., Juan Pérez, J. I., Pineda Jaimes, N. B., Cadena Vargas, E. G., Bravo Peña, L. C., y Sánchez López, M. (2015). Cambios de cobertura/uso del suelo en una porción de la Zona de Transición Mexicana de Montaña. *Madera y bosques*, 21(1), 93-112.

Carrión García, A. (2001). Análisis de series temporales, técnicas de previsión. Universidad Politécnica de Valencia. https://www.researchgate.net/publication/31656405_Analisis_de_series_temporales_tecnicas_de_prevision_A_Carrion_Garcia.

Carvajal, A. F., & Pabón, J. D. (2016). TRANSFORMACIÓN DE LA SUPERFICIE TERRESTRE POR LA ACTIVIDAD HUMANA Y SU RELACIÓN CON EL CAMBIO CLIMÁTICO. *Sociedade & Natureza*. <https://doi.org/10.1590/1982-451320160201>

Challenger, A., Dirzo, R., López, J., Mendoza, E., Lira, A., Cruz, I., Martínez, A y Gonzáles, M. (2009). Factores de cambio y estado de la biodiversidad. Capital natural de México, vol. II: *Estado de conservación y tendencias de cambio*. CONABIO, México, pp. 37-73.

- Chuvieco Salinero, E. (2002). *Teledetección ambiental: la observación de la Tierra desde el espacio*. Ariel.
- Clewell, A. F., & Aronson, J. (2013). Ecological restoration: Principles, values, and structure of an emerging profession: Second edition. In *Ecological Restoration: Principles, Values, and Structure of an Emerging Profession: Second Edition*. <https://doi.org/10.5822/978-1-59726-323-8>
- 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*. <https://doi.org/10.1080/0143116031000101675>
- Cordero-Montoya, R., Acebedo-Mairena, H., & Calvo-Alvarado, J. (2012). Cambio de la cobertura de la tierra para el Área de Conservación Tempisque 1998-2003, Guanacaste, Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 5(15), pág. 1–15. Recuperado a partir de <https://revistas.tec.ac.cr/index.php/kuru/article/view/410>
- Dale, V. H., & Beyeler, S. C. (2001). Challenges in the development and use of ecological indicators. *Ecological Indicators*. [https://doi.org/10.1016/S1470-160X\(01\)00003-6](https://doi.org/10.1016/S1470-160X(01)00003-6)
- DeVries, B., Decuyper, M., Verbesselt, J., Zeileis, A., Herold, M., y Joseph, S. (2015a). Tracking disturbance-regrowth dynamics in tropical forests using structural change detection and Landsat time series. *Remote Sensing of Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.08.020>
- DeVries, B., Verbesselt, J., Kooistra, L., y Herold, M. (2015b). Robust monitoring of small-scale forest disturbances in a tropical montane forest using Landsat time series. *Remote Sensing of Environment*, 161, 107-121. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.02.012>
- Di Gregorio, A. (2005). Land cover classification system: classification concepts and user manual: LCCS (Vol. 2). Food & Agriculture Org
- Dutrieux, L. P., Jakovac, C. C., Latifah, S. H., & Kooistra, L. (2016). Reconstructing land use history from Landsat time-series: Case study of a swidden agriculture system in

- Brazil. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*.
<https://doi.org/10.1016/j.jag.2015.11.018>
- Dutrieux, L. P., Verbesselt, J., Kooistra, L., y Herold, M. (2015). Monitoring forest cover loss using multiple data streams, a case study of a tropical dry forest in Bolivia. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 107, 112-125.
<https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2015.03.015>
- Emanuelli, P., Milla, F & Duarte, E. (2014). Análisis multitemporal período 2000 – 2010 para el Humedal Nacional Terraba-Sierpe y su área de influencia. Programa *REDD/CCAD-GIZ*. <https://www.researchgate.net/publication/312083931>
- Esteban, J., Tomé-Morán, J. L., y Fernández-Landa, A. (2019). Detección de cortas en choperas con imágenes Landsat. *Teledetección: hacia una visión global del cambio climático* (pp. 93-96). Editorial. ISBN 978-84-1320-038-5
- Fondo Nacional de Financiamiento Forestal [FONAFIFO]. (2012). *Estudio de cobertura forestal de Costa Rica 2009- 2010*.
- Gao, Y., Quevedo, A., Szantoi, Z., & Skutsch, M. (2019). Monitoring forest disturbance using time-series MODIS NDVI in Michoacán, Mexico. *Geocarto International*.
<https://doi.org/10.1080/10106049.2019.1661032>
- Gitas, I. Z., Katagis, T., Toukiloglou, P., Gitas, I. Z., Toukiloglou, P., & Goossens, R. (2012). Burned area mapping and post-fire monitoring of a Mediterranean forest using NDVI time-series of low resolution imagery and the BFAST method. *Advances in Geosciences*. <https://doi.org/10.5777/ambiencia.2012.04.02>
- Granados, I. G. (2017). Implementación del Plan General de Manejo de la Reserva Biológica Alberto Manuel Brenes, periodo 2009-2014. *Revista Pensamiento Actual*, 17.
- Gutiérrez Puebla, J. (2018). Big Data y nuevas geografías: la huella digital de las actividades humanas. *Documents d'Anàlisi Geogràfica*. <https://doi.org/10.5565/rev/dag.526>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). Metodología de la investigación. In *Journal of Chemical Information and Modeling*.
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

- Hutchinson, J. M. S., Jacquin, A., Hutchinson, S. L., & Verbesselt, J. (2015). Monitoring vegetation change and dynamics on U.S. Army training lands using satellite image time series analysis. *Journal of Environmental Management*. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.08.002>
- Huth, J., Kuenzer, C., Wehrmann, T., Gebhardt, S., Tuan, V. Q., y Dech, S. (2012). Land cover and land use classification with TWOPAC: Towards automated processing for pixel- and object-based image classification. *Remote Sensing*. <https://doi.org/10.3390/rs4092530>
- Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo, (INVU). (2017). Manual de Planes Reguladores como Instrumento de Ordenamiento Territorial.
- Jin, S., y Sader, S. A. (2005). Comparison of time series tasseled cap wetness and the normalized difference moisture index in detecting forest disturbances. *Remote Sensing of Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2004.10.012>
- Lambin, E. F., Turner, B. L., Geist, H. J., Agbola, S. B., Angelsen, A., Bruce, J. W., Coomes, O. T., Dirzo, R., Fischer, G., Folke, C., George, P. S., Homewood, K., Imbernon, J., Leemans, R., Li, X., Moran, E. F., Mortimore, M., Ramakrishnan, P. S., Richards, J. F., ... Xu, J. (2001). The causes of land-use and land-cover change: Moving beyond the myths. In *Global Environmental Change*. [https://doi.org/10.1016/S0959-3780\(01\)00007-3](https://doi.org/10.1016/S0959-3780(01)00007-3)
- Lu, M., y Hamunyela, E. (2016). ON-LINE CHANGE MONITORING WITH TRANSFORMED MULTI-SPECTRAL TIME SERIES, A STUDY CASE IN TROPICAL FOREST. ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, *Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-xli-b7-987-2016>
- Mas, J.-F., & Flamenco Sandoval, A. (2011). Modelación de los cambios de coberturas/uso del suelo en una región tropical de México. *Geotropico*, 5(1), 1-24.

- Miller, M. (2017). Series Temporales de Imágenes de Satélite, para el análisis del cambio en la vegetación, en un contexto de Explotación Minera a Cielo Abierto. Universidad Politécnica de Madrid. http://oa.upm.es/45707/1/TFM_Manuel_Miller.pdf
- Ministerio de Ambiente y Energía de Costa Rica [MINAE]. (2017). *Propuesta para el diseño del Sistema Nacional de Monitoreo de Cobertura y Uso de la Tierra y Ecosistemas. Versión 2.* <https://simocute.org/wp-content/uploads/2019/02/Propuesta-SIMOCUTE-v4-1.pdf>
- Muñoz, P. (2013). *Apuntes de Teledetección: Índices de vegetación.* Ministerio de Agricultura, Chile
- Nghiem, J., Potter, C., & Baiman, R. (2019). Detection of vegetation cover change in renewable energy development zones of southern California using MODIS NDVI time series analysis, 2000 to 2018. *Environments - MDPI.* <https://doi.org/10.3390/environments6040040>
- Oliveria-Santos, C., Oliveira, S. S. T., Andrade, A. C. C., Baumann, L. R & Ferreira, L. G. (2017). Avaliação Do Algoritmo Bfast, Aplicado a Séries Temporais Ndvi (Mod13Q1), Para Detectar Mudanças De Uso Da Terra Na Região Nordeste Do Mato Grosso - Brasil. Congresso Brasileiro de Cartografia.
- Paruelo, J. M., Guerschman, J. P., Piñeiro, G., Jobbagy, E. G., Veron, S. R., Baldi, G., y Baeza, S. (2006). Cambios en el uso de la tierra en Argentina y Uruguay: marcos conceptuales para su análisis. *Agrociencia Uruguay*, 10(2), 47-61.
- Quevedo, A., & Gao, Y. (2017). Detection of forest disturbances by time series analysis of NDVI from MODIS sensor for Michoacan State, Mexico (2000 - 2014). 38th Asian Conference on Remote Sensing - Space Applications: Touching Human Lives, ACRS 2017.
- Rouse, J.W., R.H. Haas, J.A. Schell, and D.W. Deering, 1974. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS, In: S.C. Freden, E.P. Mercanti, and M. Becker (eds) Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium. Volume I: Technical Presentations, NASA SP-351, NASA, Washington, D.C., pp. 309-317.

- Saborío, J., Soto, G y Mora, S. (2020). Desarrollo de escenarios por inestabilidad de laderas en el área de Peñas Blancas, Esparza. Comisión Nacional de Emergencia (CNE). https://www.cne.go.cr/reduccion_riesgo/biblioteca/informes/INFORME%20PenasBlancas_Final_10Nov20.pdf
- Sacristán, F. (2005). La Teledetección satelital y los sistemas de protección ambiental. *Civilizar*. <https://doi.org/10.22518/16578953.701>
- Sáenz, F., Le Coq, J., Villalobos, C y Cathelin, C. (2011). Ordenamiento territorial y conservación en Costa Rica
- Schultz, M., Verbesselt, J., Avitabile, V., Souza, C., y Herold, M. (2016). Error Sources in Deforestation Detection Using BFAST Monitor on Landsat Time Series Across Three Tropical Sites. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 9(8), 3667–3679. <https://doi:10.1109/jstars.2015.2477473>
- Sepúlveda-Varas, A., Saavedra-Briones, P., y Esse, C. (2019). Análisis de cambio de cobertura y uso de suelo en una subcuenca preandina chilena. Herramienta para la sustentabilidad productiva de un territorio. *Revista de Geografía Norte Grande*. <https://doi.org/10.4067/S0718-34022019000100009>
- Silva, L., Tavares de Carvalho, L. M., Braga, I., Borges, T y Ramos, S. (2019). AVALIAÇÃO DA SIMILARIDADE ENTRE O COMPORTAMENTO TEMPORAL DE CULTIVOS DE CAFÉ E REMANESCENTES FLORESTAIS. Em: *Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Campinas : GALOÁ. 2019.
- Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC). (2016). *Guía para el diseño y formulación del Plan General de Manejo de las Áreas Silvestres Protegidas de Costa Rica*. (2da ed.). San José-Costa Rica. 55 págs.
- Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC). (2018). *Guía Rápida para la Implementación de la Zonificación en Áreas Silvestres Protegidas de Costa Rica*. Ed. Artavia G, San José, Costa Rica.

- Sistema Nacional de Monitoreo de Cobertura y Uso de la Tierra y Ecosistemas [SIMOCUTE], (2019). *Marco Conceptual del Sistema Nacional de Monitoreo de Cobertura y Uso de la Tierra y Ecosistemas v1.0*. San José, Costa Rica: Centro Nacional de Información Geoambiental (CENIGA).
- Smith, V., Portillo-Quintero, C., Sanchez-Azofeifa, A., y Hernandez-Stefanoni, J. L. (2019). Assessing the accuracy of detected breaks in Landsat time series as predictors of small scale deforestation in tropical dry forests of Mexico and Costa Rica. *Remote Sensing of Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.12.020>
- Sobrino, J. A. (2001). Teledetección. Universitat de Valencia.
- Soto-Berelov, M., y Hislop, S. (2016). Approaches used for pixel based time series analysis of Landsat data Literature Review Version 1 . 1. *Environmental Science, Geography*.
- Souza, C. G., Arantes, T. B., Carvalho, L. M. T. de, & Aguiar, P. (2019). Multitemporal variables for the mapping of coffee cultivation areas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. <https://doi.org/10.1590/s1678-3921.pab2019.v54.00017>
- Tsutsumida, N., Saizen, I., Matsuoka, M., & Ishii, R. (2013). Land cover change detection in Ulaanbaatar using the breaks for additive seasonal and trend method. Land. <https://doi.org/10.3390/land2040534>U.S. *Geological Survey* (USGS). (2 de noviembre, 2020). What are the band designations for the Landsat satellites? https://www.usgs.gov/faqs/what-are-band-designations-landsat-satellites?qt-news_science_products=0#qt-news_science_products
- U.S. Geological Survey (USGS). (2019). LANDSAT COLLECTION 1 LEVEL 1 PRODUCT DEFINITION
- Universidad Nacional (UNA) y Municipalidad de Esparza. (2011). Plan regulador de Esparza: Incorporación de la Variable Ambiental, Esparza, Costa Rica.
- Vargas-Sanabria, D., y Campos-Vargas, C. (2018). Sistema multi-algoritmo para la clasificación de coberturas de la tierra en el bosque seco tropical del Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica. *Revista Tecnología En Marcha*. <https://doi.org/10.18845/tm.v31i1.3497>

- Verbesselt, J., Hyndman, R., Newnham, G., y Culvenor, D. (2010a). Detecting trend and seasonal changes in satellite image time series. *Remote Sensing of Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.08.014>
- Verbesselt, J., Hyndman, R., Zeileis, A., y Culvenor, D. (2010b). Phenological change detection while accounting for abrupt and gradual trends in satellite image time series. *Remote Sensing of Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2010.08.003>
- Vogelmann, J. E., Xian, G., Homer, C., y Tolck, B. (2012). Monitoring gradual ecosystem change using Landsat time series analyses: Case studies in selected forest and rangeland ecosystems. *Remote Sensing of Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.06.027>
- Watts, L. M., y Laffan, S. W. (2014). Effectiveness of the BFAST algorithm for detecting vegetation response patterns in a semi-arid region. *Remote Sensing of Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.08.023>
- Watts, L. M., y Laffan, S. W. (2020). Sensitivity of the BFAST algorithm to MODIS satellite and vegetation index. Proceedings - 20th International Congress on Modelling and Simulation, MODSIM 2013. <https://doi.org/10.36334/modsim.2013.h2.watts>
- Wu, L., Li, Z., Liu, X., Zhu, L., Tang, Y., Zhang, B., Xu, B., Liu, M., Meng, Y., y Liu, B. (2020). Multi-type forest change detection using BFAST and monthly landsat time series for monitoring spatiotemporal dynamics of forests in subtropical wetland. *Remote Sensing*. <https://doi.org/10.3390/rs12020341>
- Zaraza -Aguilera, M. A., y Manrique-Chacón, L. M. (2019). Generación de datos de cambio de coberturas vegetales en la sabana de Bogotá mediante el uso de series temporales con imágenes Landsat e imágenes sintéticas MODIS-Landsat entre los años 2007 y 2013. *Revista de Teledetección*. <https://doi.org/10.4995/raet.2019.12280>
- Zhu, Z. (2017). Change detection using landsat time series: A review of frequencies, preprocessing, algorithms, and applications. In *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2017.06.013>

9. ANEXOS

Anexo 1

Ficha de campo

Parada	ID GPS	X	Y	ID Poligono	Distancia	Azmut	Cobertura/Uso Actual	Observaciones
03	03	89,68325	10,1534		0	0	Posto	Parque Pato + Tallo de mts
02	02	89,68449	10,1609		0	0	Posto	
20	20	89,68403	10,1608		0	0	Posto	Tallo Culo Baque
19	19	89,68300	10,1620		0	0	Casa/Habit	* Casa + Construcción
7	17	89,66746	10,15345		0	0	Casa/Habit	Construcción

Parada	ID GPS	X	Y	ID Poligono	Distancia	Azmut	Cobertura/Uso Actual	Observaciones
7	07	89,6710	10,1598	7	0	0	Posto	Posto + Tallo de mts
06	06	89,67229	10,1577		0	0	Posto/Baque	Baque a Posto
05	05	89,6829	10,1445		0	0	Posto	Posto + Construcción
04	04	89,66825	10,15345				Posto	

Parada	ID GPS	X	Y	ID Poligono	Distancia	Azmut	Cobertura/Uso Actual	Observaciones
16	16	89,66453	10,1718	16			Posto	
15	15	89,66103	10,1820	15			Posto	Posto Pato
14	14	89,65936	10,1897	14			Posto	
13	13	89,65774	10,1953	13				Observación por parte
10	X	X	X					

Parada	ID GPS	X	Y	ID Poligono	Distancia	Azmut	Cobertura/Uso Actual	Observaciones
10	10	89,66428	10,1529	10			Posto	
101	101	89,65940	10,1555				Posto	Dependencia
9	9	89,65501	10,1532	9			Posto Baque	

Nota. Elaboración propia, 2020.

Anexo 2

Ejemplo de acceso restringido a puntos de verificación



Nota. Elaboración propia, 2020.

Anexo 3

Listado de preguntas para actores clave.

1. ¿Ha notado cambios significativos en la cobertura de la tierra en la zona en los últimos 10 años?
2. ¿Cuál cree que es la principal causa del cambio de coberturas de la tierra?

Anexo 4

Listado de imágenes utilizadas para la creación de la serie temporal.

<i>Fecha</i>	<i>ID</i>
19/1/2009	LE07_L2SP_016053_20090119_20200912_02_T1
28/1/2009	LE07_L2SP_015053_20090128_20200912_02_T1
1/3/2009	LE07_L2SP_015053_20090301_20200912_02_T1
2/4/2009	LE07_L2SP_015053_20090402_20200912_02_T1
18/4/2009	LE07_L2SP_015053_20090418_20200912_02_T1
4/5/2009	LE07_L2SP_015053_20090504_20200912_02_T1
20/5/2009	LE07_L2SP_015053_20090520_20200912_02_T1
9/9/2009	LE07_L2SP_015053_20090909_20200911_02_T1
11/10/2009	LE07_L2SP_015053_20091011_20200911_02_T1
27/10/2009	LE07_L2SP_015053_20091027_20200911_02_T1
12/11/2009	LE07_L2SP_015053_20091112_20200911_02_T1
5/12/2009	LE07_L2SP_016053_20091205_20200911_02_T1
30/12/2009	LE07_L2SP_015053_20091230_20200911_02_T1
15/1/2010	LE07_L2SP_015053_20100115_20200911_02_T1
31/1/2010	LE07_L2SP_015053_20100131_20200911_02_T1
16/2/2010	LE07_L2SP_015053_20100216_20200911_02_T1
5/4/2010	LE07_L2SP_015053_20100405_20200911_02_T1
21/4/2010	LE07_L2SP_015053_20100421_20200911_02_T1
7/5/2010	LE07_L2SP_015053_20100507_20200911_02_T1
24/6/2010	LE07_L2SP_015053_20100624_20200911_02_T1
14/10/2010	LE07_L2SP_015053_20101014_20200910_02_T1
6/11/2010	LE07_L2SP_016053_20101106_20200910_02_T1
15/11/2010	LE07_L2SP_015053_20101115_20200910_02_T1
24/12/2010	LE07_L2SP_016053_20101224_20200910_02_T1
18/1/2011	LE07_L2SP_015053_20110118_20200910_02_T1
3/2/2011	LE07_L2SP_015053_20110203_20200910_02_T1
19/2/2011	LE07_L2SP_015053_20110219_20200910_02_T1
7/3/2011	LE07_L2SP_015053_20110307_20200910_02_T1
23/3/2011	LE07_L2SP_015053_20110323_20200910_02_T1
18/11/2011	LE07_L2SP_015053_20111118_20200909_02_T1
4/12/2011	LE07_L2SP_015053_20111204_20200909_02_T1
20/12/2011	LE07_L2SP_015053_20111220_20200909_02_T1
5/1/2012	LE07_L2SP_015053_20120105_20200909_02_T1
21/1/2012	LE07_L2SP_015053_20120121_20200909_02_T1
6/2/2012	LE07_L2SP_015053_20120206_20200909_02_T1
22/2/2012	LE07_L2SP_015053_20120222_20200909_02_T1
25/3/2012	LE07_L2SP_015053_20120325_20200909_02_T1
24/9/2012	LE07_L2SP_016053_20120924_20200908_02_T1
3/10/2012	LE07_L2SP_015053_20121003_20200908_02_T1
22/12/2012	LE07_L2SP_015053_20121222_20210218_02_T1
7/1/2013	LE07_L1TP_015053_20130107_20200908_02_T1
14/1/2013	LE07_L1TP_016053_20130114_20200908_02_T1

23/1/2013	LE07_L1TP_015053_20130123_20200908_02_T1
24/2/2013	LE07_L2SP_015053_20130224_20200908_02_T1
12/3/2013	LE07_L2SP_015053_20130312_20200908_02_T1
28/3/2013	LE07_L2SP_015053_20130328_20200907_02_T1
21/4/2013	LC08_L2SP_015053_20130421_20200913_02_T1
23/5/2013	LC08_L2SP_015053_20130523_20200913_02_T1
8/6/2013	LC08_L2SP_015053_20130608_20200912_02_T1
24/6/2013	LC08_L2SP_015053_20130624_20200912_02_T1
10/7/2013	LC08_L2SP_015053_20130710_20200912_02_T1
10/8/2013	LE07_L2SP_016053_20130810_20200907_02_T1
11/8/2013	LC08_L2SP_015053_20130811_20200912_02_T1
26/8/2013	LE07_L2SP_016053_20130826_20200907_02_T1
4/9/2013	LE07_L2SP_015053_20130904_20200907_02_T1
11/9/2013	LE07_L2SP_016053_20130911_20200907_02_T1
12/9/2013	LC08_L2SP_015053_20130912_20200912_02_T1
28/9/2013	LC08_L2SP_015053_20130928_20200912_02_T1
6/10/2013	LE07_L2SP_015053_20131006_20200907_02_T1
14/10/2013	LC08_L2SP_015053_20131014_20200913_02_T1
22/10/2013	LE07_L2SP_015053_20131022_20200907_02_T1
30/10/2013	LC08_L2SP_015053_20131030_20200912_02_T1
7/11/2013	LE07_L2SP_015053_20131107_20200907_02_T1
23/11/2013	LE07_L2SP_015053_20131123_20200907_02_T1
1/12/2013	LC08_L2SP_015053_20131201_20200912_02_T
9/12/2013	E07_L2SP_015053_20131209_20200906_02_T1
16/12/2013	LE07_L2SP_016053_20131216_20200906_02_T1
17/12/2013	LC08_L2SP_015053_20131217_20200912_02_T1
25/12/2013	LE07_L2SP_015053_20131225_20200906_02_T1
2/1/2014	LC08_L2SP_015053_20140102_20200912_02_T1
10/1/2014	LE07_L2SP_015053_20140110_20210218_02_T1
18/1/2014	LC08_L2SP_015053_20140118_20200912_02_T1
26/1/2014	LE07_L2SP_015053_20140126_20210218_02_T1
3/2/2014	LC08_L2SP_015053_20140203_20200912_02_T1
11/2/2014	LE07_L2SP_015053_20140211_20210519_02_T1
19/2/2014	LC08_L2SP_015053_20140219_20200911_02_T1
27/2/2014	LE07_L2SP_015053_20140227_20200906_02_T1
15/3/2014	LE07_L2SP_015053_20140315_20200906_02_T1
22/3/2014	LE07_L2SP_016053_20140322_20200906_02_T1
23/3/2014	LC08_L2SP_015053_20140323_20200911_02_T1
31/3/2014	LE07_L2SP_015053_20140331_20200906_02_T1
7/4/2014	LE07_L2SP_016053_20140407_20210218_02_T1
8/4/2014	LC08_L2SP_015053_20140408_20200911_02_T1
16/4/2014	LE07_L2SP_015053_20140416_20200906_02_T1
24/4/2014	LC08_L2SP_015053_20140424_20201015_02_T1

<i>2/5/2014</i>	<i>LE07_L2SP_015053_20140502_20200906_02_T1</i>
<i>10/5/2014</i>	<i>LC08_L2SP_015053_20140510_20200911_02_T1</i>
<i>26/5/2014</i>	<i>LC08_L2SP_015053_20140526_20200911_02_T1</i>
<i>11/6/2014</i>	<i>LC08_L2SP_015053_20140611_20200911_02_T1</i>
<i>27/6/2014</i>	<i>LC08_L2SP_015053_20140627_20200911_02_T1</i>
<i>4/7/2014</i>	<i>LC08_L2SP_016053_20140704_20200911_02_T1</i>
<i>12/7/2014</i>	<i>LE07_L2SP_016053_20140712_20200906_02_T1</i>
<i>29/7/2014</i>	<i>LC08_L2SP_015053_20140729_20200911_02_T1</i>
<i>6/8/2014</i>	<i>LE07_L2SP_015053_20140806_20210218_02_T1</i>
<i>14/8/2014</i>	<i>LC08_L2SP_015053_20140814_20200911_02_T1</i>
<i>30/8/2014</i>	<i>LC08_L2SP_015053_20140830_20200911_02_T1</i>
<i>7/9/2014</i>	<i>LE07_L2SP_015053_20140907_20200906_02_T1</i>
<i>15/9/2014</i>	<i>LC08_L2SP_015053_20140915_20200911_02_T1</i>
<i>22/9/2014</i>	<i>LC08_L2SP_016053_20140922_20200910_02_T1</i>
<i>1/10/2014</i>	<i>LC08_L2SP_015053_20141001_20200910_02_T1</i>
<i>9/10/2014</i>	<i>LE07_L2SP_015053_20141009_20200905_02_T1</i>
<i>16/10/2014</i>	<i>LE07_L2SP_016053_20141016_20200905_02_T1</i>
<i>25/10/2014</i>	<i>LE07_L2SP_015053_20141025_20200905_02_T1</i>
<i>10/11/2014</i>	<i>LE07_L2SP_015053_20141110_20200905_02_T1</i>
<i>17/11/2014</i>	<i>LE07_L2SP_016053_20141117_20210519_02_T1</i>
<i>18/11/2014</i>	<i>LC08_L2SP_015053_20141118_20200910_02_T1</i>
<i>3/12/2014</i>	<i>LE07_L2SP_016053_20141203_20200905_02_T1</i>
<i>11/12/2014</i>	<i>LC08_L2SP_016053_20141211_20200910_02_T1</i>
<i>20/12/2014</i>	<i>LC08_L2SP_015053_20141220_20200910_02_T1</i>
<i>27/12/2014</i>	<i>LC08_L2SP_016053_20141227_20200910_02_T1</i>
<i>28/12/2014</i>	<i>LE07_L2SP_015053_20141228_20200905_02_T1</i>
<i>5/1/2015</i>	<i>LC08_L2SP_015053_20150105_20200910_02_T1</i>
<i>13/1/2015</i>	<i>LE07_L2SP_015053_20150113_20200905_02_T1</i>
<i>21/1/2015</i>	<i>LC08_L2SP_015053_20150121_20200910_02_T1</i>
<i>29/1/2015</i>	<i>LE07_L2SP_015053_20150129_20200905_02_T1</i>
<i>6/2/2015</i>	<i>LC08_L2SP_015053_20150206_20200909_02_T1</i>
<i>14/2/2015</i>	<i>LE07_L2SP_015053_20150214_20200905_02_T1</i>
<i>22/2/2015</i>	<i>LC08_L2SP_015053_20150222_20200909_02_T1</i>
<i>2/3/2015</i>	<i>LE07_L2SP_015053_20150302_20200905_02_T1</i>
<i>9/3/2015</i>	<i>LE07_L2SP_016053_20150309_20200905_02_T1</i>
<i>18/3/2015</i>	<i>LE07_L2SP_015053_20150318_20200905_02_T1</i>
<i>25/3/2015</i>	<i>LE07_L2SP_016053_20150325_20200905_02_T1</i>
<i>26/3/2015</i>	<i>LC08_L2SP_015053_20150326_20200909_02_T1</i>
<i>3/4/2015</i>	<i>LE07_L2SP_015053_20150403_20200904_02_T1</i>
<i>10/4/2015</i>	<i>LE07_L2SP_016053_20150410_20200904_02_T1</i>
<i>28/5/2015</i>	<i>LE07_L2SP_016053_20150528_20200904_02_T1</i>
<i>29/5/2015</i>	<i>LC08_L2SP_015053_20150529_20200909_02_T1</i>
<i>16/7/2015</i>	<i>LC08_L2SP_015053_20150716_20200909_02_T1</i>

31/7/2015	LE07_L2SP_016053_20150731_20200903_02_T1
1/8/2015	LC08_L2SP_015053_20150801_20200908_02_T1
2/9/2015	LC08_L2SP_015053_20150902_20200908_02_T1
18/9/2015	LC08_L2SP_015053_20150918_20200908_02_T1
3/10/2015	LE07_L2SP_016053_20151003_20200903_02_T1
4/10/2015	LC08_L2SP_015053_20151004_20200908_02_T1
20/10/2015	LC08_L2SP_015053_20151020_20200908_02_T1
4/11/2015	LE07_L2SP_016053_20151104_20200903_02_T1
5/11/2015	LC08_L2SP_015053_20151105_20200908_02_T1
13/11/2015	LE07_L2SP_015053_20151113_20200903_02_T1
29/11/2015	LE07_L2SP_015053_20151129_20200903_02_T1
15/12/2015	LE07_L2SP_015053_20151215_20200903_02_T1
23/12/2015	LC08_L2SP_015053_20151223_20200908_02_T1
31/12/2015	LE07_L2SP_015053_20151231_20200903_02_T1
8/1/2016	LC08_L2SP_015053_20160108_20200907_02_T1
24/1/2016	LC08_L2SP_015053_20160124_20200907_02_T1
1/2/2016	LE07_L2SP_015053_20160201_20200903_02_T1
9/2/2016	LC08_L2SP_015053_20160209_20200907_02_T1
17/2/2016	LE07_L2SP_015053_20160217_20200903_02_T1
24/2/2016	LE07_L2SP_016053_20160224_20200903_02_T1
25/2/2016	LC08_L2SP_015053_20160225_20200907_02_T1
4/3/2016	LE07_L2SP_015053_20160304_20210219_02_T1
12/3/2016	LC08_L2SP_015053_20160312_20200907_02_T1
28/3/2016	LC08_L2SP_015053_20160328_20200907_02_T1
5/4/2016	LE07_L2SP_015053_20160405_20200902_02_T1
13/4/2016	LC08_L2SP_015053_20160413_20200907_02_T1
21/4/2016	LE07_L2SP_015053_20160421_20200902_02_T1
29/4/2016	LC08_L2SP_015053_20160429_20200907_02_T1
7/5/2016	LE07_L2SP_015053_20160507_20200902_02_T1
16/6/2016	LC08_L2SP_015053_20160616_20200906_02_T1
24/6/2016	LE07_L2SP_015053_20160624_20200902_02_T1
26/7/2016	LE07_L2SP_015053_20160726_20210218_02_T1
2/8/2016	LE07_L2SP_016053_20160802_20200902_02_T1
19/8/2016	LC08_L2SP_015053_20160819_20200906_02_T1
4/9/2016	LC08_L2SP_015053_20160904_20200906_02_T1
28/9/2016	LE07_L2SP_015053_20160928_20200901_02_T1
6/10/2016	LC08_L2SP_015053_20161006_20200906_02_T1
7/11/2016	LC08_L2SP_015053_20161107_20200905_02_T1
17/12/2016	LE07_L2SP_015053_20161217_20201008_02_T1
25/12/2016	LC08_L2SP_015053_20161225_20200905_02_T1
10/1/2017	LC08_L2SP_015053_20170110_20200905_02_T1
18/1/2017	LE07_L2SP_015053_20170118_20200901_02_T1
26/1/2017	LC08_L2SP_015053_20170126_20200905_02_T1

<i>3/2/2017</i>	<i>LE07_L2SP_015053_20170203_20201008_02_T1</i>
<i>10/2/2017</i>	<i>LE07_L2SP_016053_20170210_20200901_02_T1</i>
<i>11/2/2017</i>	<i>LC08_L2SP_015053_20170211_20200905_02_T1</i>
<i>19/2/2017</i>	<i>LE07_L2SP_015053_20170219_20200901_02_T1</i>
<i>26/2/2017</i>	<i>LE07_L2SP_016053_20170226_20200901_02_T1</i>
<i>27/2/2017</i>	<i>LC08_L2SP_015053_20170227_20200905_02_T1</i>
<i>15/3/2017</i>	<i>LC08_L2SP_015053_20170315_20200904_02_T1</i>
<i>30/3/2017</i>	<i>LE07_L2SP_016053_20170330_20200831_02_T1</i>
<i>31/3/2017</i>	<i>LC08_L2SP_015053_20170331_20200904_02_T1</i>
<i>8/4/2017</i>	<i>LE07_L2SP_015053_20170408_20200831_02_T1</i>
<i>16/4/2017</i>	<i>LC08_L2SP_015053_20170416_20200904_02_T1</i>
<i>24/4/2017</i>	<i>LE07_L2SP_015053_20170424_20200831_02_T1</i>
<i>18/5/2017</i>	<i>LC08_L2SP_015053_20170518_20200904_02_T1</i>
<i>5/7/2017</i>	<i>LC08_L2SP_015053_20170705_20200903_02_T1</i>
<i>21/7/2017</i>	<i>LC08_L2SP_015053_20170721_20200903_02_T1</i>
<i>6/8/2017</i>	<i>LC08_L2SP_015053_20170806_20200903_02_T1</i>
<i>14/8/2017</i>	<i>LE07_L2SP_015053_20170814_20200830_02_T1</i>
<i>22/8/2017</i>	<i>LC08_L2SP_015053_20170822_20200903_02_T1</i>
<i>30/8/2017</i>	<i>LE07_L2SP_015053_20170830_20200830_02_T1</i>
<i>7/9/2017</i>	<i>LC08_L2SP_015053_20170907_20200903_02_T1</i>
<i>9/10/2017</i>	<i>LC08_L2SP_015053_20171009_20200903_02_T1</i>
<i>10/11/2017</i>	<i>LC08_L2SP_015053_20171110_20200902_02_T1</i>
<i>18/11/2017</i>	<i>LE07_L2SP_015053_20171118_20200830_02_T1</i>
<i>20/12/2017</i>	<i>LE07_L2SP_015053_20171220_20200830_02_T1</i>
<i>28/12/2017</i>	<i>LC08_L2SP_015053_20171228_20200902_02_T1</i>
<i>13/1/2018</i>	<i>LC08_L2SP_015053_20180113_20200902_02_T1</i>
<i>29/1/2018</i>	<i>LC08_L2SP_015053_20180129_20200902_02_T1</i>
<i>6/2/2018</i>	<i>LE07_L2SP_015053_20180206_20200829_02_T1</i>
<i>14/2/2018</i>	<i>LC08_L2SP_015053_20180214_20200902_02_T1</i>
<i>22/2/2018</i>	<i>LE07_L2SP_015053_20180222_20200830_02_T1</i>
<i>2/3/2018</i>	<i>LC08_L2SP_015053_20180302_20200902_02_T1</i>
<i>10/3/2018</i>	<i>LE07_L2SP_015053_20180310_20200830_02_T1</i>
<i>18/3/2018</i>	<i>LC08_L2SP_015053_20180318_20200901_02_T1</i>
<i>26/3/2018</i>	<i>LE07_L2SP_015053_20180326_20200830_02_T1</i>
<i>3/4/2018</i>	<i>LC08_L2SP_015053_20180403_20200901_02_T1</i>
<i>5/5/2018</i>	<i>LC08_L2SP_015053_20180505_20200901_02_T1</i>
<i>13/5/2018</i>	<i>LE07_L2SP_015053_20180513_20200829_02_T1</i>
<i>14/6/2018</i>	<i>LE07_L2SP_015053_20180614_20200829_02_T1</i>
<i>22/6/2018</i>	<i>LC08_L2SP_015053_20180622_20200831_02_T1</i>
<i>30/6/2018</i>	<i>LE07_L2SP_015053_20180630_20200829_02_T1</i>
<i>8/7/2018</i>	<i>LC08_L2SP_015053_20180708_20200831_02_T1</i>
<i>24/7/2018</i>	<i>LC08_L2SP_015053_20180724_20200831_02_T1</i>
<i>1/8/2018</i>	<i>LE07_L2SP_015053_20180801_20200829_02_T1</i>

25/8/2018	<i>LC08_L2SP_015053_20180825_20200831_02_T1</i>
13/11/2018	LC08_L2SP_015053_20181113_20200830_02_T1
29/11/2018	LC08_L2SP_015053_20181129_20200830_02_T1
8/1/2019	LE07_L2SP_015053_20190108_20200827_02_T1
16/1/2019	LC08_L2SP_015053_20190116_20200829_02_T1
24/1/2019	LE07_L2SP_015053_20190124_20200827_02_T1
1/2/2019	LC08_L2SP_015053_20190201_20200829_02_T1
9/2/2019	LE07_L2SP_015053_20190209_20200827_02_T1
17/2/2019	LC08_L2SP_015053_20190217_20200829_02_T1
5/3/2019	LC08_L2SP_015053_20190305_20200829_02_T1
13/3/2019	LE07_L2SP_015053_20190313_20200826_02_T1
21/3/2019	LC08_L2SP_015053_20190321_20200829_02_T1
29/3/2019	LE07_L2SP_015053_20190329_20200826_02_T1
22/4/2019	LC08_L2SP_015053_20190422_20200829_02_T1
30/4/2019	LE07_L2SP_015053_20190430_20200825_02_T1
1/6/2019	LE07_L2SP_015053_20190601_20200825_02_T1
9/6/2019	LC08_L2SP_015053_20190609_20200828_02_T1
19/7/2019	LE07_L2SP_015053_20190719_20200825_02_T1
27/7/2019	LC08_L2SP_015053_20190727_20200827_02_T1
28/8/2019	LC08_L2SP_015053_20190828_20200826_02_T1
13/9/2019	LC08_L2SP_015053_20190913_20200826_02_T1
21/9/2019	LE07_L2SP_015053_20190921_20200824_02_T1
29/9/2019	LC08_L2SP_015053_20190929_20200825_02_T1
7/10/2019	LE07_L2SP_015053_20191007_20200824_02_T1
24/11/2019	LE07_L2SP_015053_20191124_20200823_02_T1
2/12/2019	LC08_L2SP_015053_20191202_20200825_02_T1
10/12/2019	LE07_L2SP_015053_20191210_20200823_02_T1
26/12/2019	LE07_L2SP_015053_20191226_20200823_02_T1