

Paisaje de Cobertura Arbórea año 2019 ***Informe final***

**MONITOREO DE CAMBIO DE USO EN PAISAJES PRODUCTIVOS
(MOCUPP)**





CONSEJO NACIONAL DE RECTORES (CONARE)

Centro Nacional de Alta Tecnología (CeNAT)

Laboratorio PRIAS

Informe final del Paisaje de Cobertura Arbórea presente en un radio de 2 km alrededor de los paisajes productivos del MOCUPP para el año 2019

Autores

Sofía Acuña López
Iván Ávila Pérez
Heileen Aguilar Arias
Sofía Hernández Hernández
Armando Vargas Céspedes
Yerlin Vargas Solano
María Fernanda Obando Picado
Ezequiel Fallas Montero
Milagro Jiménez Rodríguez
Jennifer Fernández Garro
Yorleny Calvo Elizondo
David Romero Badilla
Marilyn Manrow Villalobos
Cornelia Miller Granados

Revisión y aprobación

Cornelia Miller Granados
Francini Acuña Piedra

Diseño de portada

Yorleny Calvo Elizondo
Sebastián Sánchez Guzmán

Mayo 2022. San José, Costa Rica.



333.75
IN43i

Informe final del paisaje de Cobertura Arbórea presente en un radio de 2 km alrededor de los paisajes productivos del MOCUPP para el año 2019 [Recurso electrónico] / Sofía Acuña López [et al.] – Datos electrónicos (1 archivo : 7.000 kb). -- San José, C.R. : CONARE - CENAT, 2022.

ISBN 978-9977-77-465-7
Proyecto MOCUPP
Formato pdf, 14 páginas.

1. INFORME. 2. PROYECTO MOCUPP. 3. COBERTURA FORESTAL. 4. COSTA RICA. I. Acuña López, Sofía. II. Ávila Pérez, Iván. III. Aguilar Arias, Heleen. VI. Hernández Hernández, Sofía. V. Vargas Céspedes, Armando. VI. Vargas Solano, Yerlin. VII. Obando Picado, María Fernanda. VIII. Fallas Montero, Ezequiel. IX. Jiménez Rodríguez, Milagro. X. Fernández Garro, Jennifer. XI. Calvo Elizondo, Yorleny. XII. Romero Badilla, David. XIII. Manrow Villalobos, Marilyn. XIV. Miller Granados, Cornelia. XV. Título.



RECONOCIMIENTO

El Proyecto Monitoreo de Cambio de Uso en Paisajes Productivos (MOCUPP), destaca la labor realizada por el Consejo Nacional de Rectores (CONARE), el Centro Nacional de Alta Tecnología (CeNAT) y el Laboratorio PRIAS por el apoyo y acompañamiento brindado en las diversas etapas del desarrollo de este proyecto.

Este informe es el resultado de un amplio proceso de investigación, se extiende un reconocimiento especial a: Evelyn Barrientos Villalta y Laura Ramírez Delgado de la Biblioteca CONARE. Asimismo, a los colegas del Laboratorio PRIAS; Francini Corrales Garro y Ketcha Hernández Vargas en el soporte de los procesos tecnológicos, a Marilyn Ortega Rivera y Christian Vargas Bolaños por su colaboración en el trabajo de campo, y a las personas que aportaron e hicieron posible el desarrollo de la capa del Paisaje de Pastos 2019; Esteban Castillo Gamboa, Catalina Arguedas González, Jose Hernández Castro, Jorge Rosales Rodríguez, Kristhell Duarte Sandí, Gabriela Madrigal Chaves y Osvaldo Navarro Ceciliano.



Agradecimientos

El Proyecto Monitoreo de Cambio de Uso en Paisajes Productivos (MOCUPP), extiende su agradecimiento al Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), Instituto Geográfico Nacional (IGN), Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), Ministerio de Comercio Exterior (COMEX), Tribunal Ambiental Administrativo (TAA) y Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC), por el acompañamiento y respaldo técnico brindado durante las giras de campo efectuadas en el año 2020, además del aporte de insumos necesarios para la realización de informes de los distintos paisajes productivos. (Para más detalles consultar el Anexo 5)



INDICE DE CONTENIDO

GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	VIII
LISTADO DE ACRÓNIMOS.....	XIII
RESEÑA PROYECTO MOCUPP.....	1
I. RESUMEN.....	3
II. INTRODUCCIÓN.....	4
2.1. ANTECEDENTES.....	4
2.2. USO DE TECNOLOGÍAS DE TELEDETECCIÓN PARA EL MONITOREO DE PAISAJES PRODUCTIVOS.....	7
2.3. JUSTIFICACIÓN.....	9
III. METODOLOGÍA.....	12
3.1. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO METODOLÓGICO PPP.....	12
3.2. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	14
3.2.1. <i>Región Central (RC)</i>	14
3.2.2. <i>Región Pacífico Central (RCP)</i>	15
3.2.3. <i>Región Brunca (RB)</i>	16
3.2.4. <i>Región Huetar Caribe (RHC)</i>	16
3.2.5. <i>Región Huetar Norte (RHN)</i>	17
3.2.6. <i>Región Chorotega (RCh)</i>	17
3.3. PLANIFICACIÓN DE TOMA DE PUNTOS DE CONTROL Y VALIDACIÓN.....	18
3.3.1. <i>Definición del tamaño de la muestra</i>	18
3.3.2. <i>Levantamiento de puntos de control en campo</i>	20



3.3.2.1. Planificación de rutas.....	20
3.3.2.2. Muestreo de puntos de control y validación.....	21
3.3.2.3. Procesamiento de datos	24
3.3.3. Levantamiento de información virtual	24
3.4. TRATAMIENTO DE IMÁGENES SATELITALES	28
3.4.1. Descarga de imágenes.....	28
3.4.2. Procesamiento de imágenes	30
3.4.3. Mosaicos 2019.....	30
3.4.3.1. Creación de los mosaicos por proceso tradicional.....	31
3.4.3.2. Creación de los mosaicos automatizados en la plataforma GEE	32
3.5. INTERPRETACIÓN Y ACTUALIZACIÓN DE ÁREAS DE COBERTURA ARBÓREA.....	32
3.6. VALIDACIÓN DE LA CLASIFICACIÓN	36
3.6.1. Validación 1	36
3.6.2. Validación 2	38
3.6.3. Validación 3.....	39
IV. RESULTADOS GENERALES	42
4.1. DISTRIBUCIÓN Y ANÁLISIS DEL PAISAJE DE COBERTURA ARBÓREA PRESENTE EN UN RADIO DE 2KM ALREDEDOR DE LOS PAISAJES PRODUCTIVOS DE MOCUPP PARA EL AÑO 2019	42
4.2. ANÁLISIS DE LA COBERTURA ARBÓREA POR CANTÓN.	43
V. RESULTADOS REGIONALES.....	48
5.1. REGIÓN CHOROTEGA.....	50
5.2. REGIÓN BRUNCA	52



5.3.	REGIÓN CENTRAL.....	54
5.4.	REGIÓN HUETAR NORTE.....	56
5.5.	REGIÓN HUETAR CARIBE.....	58
5.6.	REGIÓN PACÍFICO CENTRAL.....	60
5.7.	COMPARACIÓN DEL ÁREA TOTAL DEL PAISAJE DE COBERTURA ARBÓREA, PARA LOS AÑOS 2018-2019.....	63
VI.	CONCLUSIONES.....	64
VII.	REFERENCIAS.....	65
VIII.	ANEXOS.....	79
8.1.	ANEXO 1. RESULTADOS DEL CÁLCULO DEL TAMAÑO DE LA MUESTRA PARA EL PAISAJE DE COBERTURA ARBÓREA. AÑO 2019.....	79
8.2.	ANEXO 2. MATRIZ DE CONFUSIÓN PARA EL PAISAJE DE COBERTURA ARBÓREA. AÑO 2019.....	79
8.3.	ANEXO 3. ESTADÍSTICOS DE LA CAPA DEL PAISAJE DE COBERTURA ARBÓREA. AÑO 2019.....	80
8.4.	ANEXO 4. DESGLOSE POR CANTONES DE LAS HECTÁREAS Y PORCENTAJE DE ÁREA DE OCUPACIÓN DE CA POR CADA REGIÓN DE ESTUDIO. AÑO 2019.....	81
8.5.	ANEXO 5. COLABORADORES DEL PROYECTO MOCUPP. AÑO 2020. (ARGUEDAS ET AL, 2020).....	85



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Clasificación de los puntos a utilizar en el levantamiento de la información.</i>	22
Tabla 2. <i>Datos obtenidos a partir de las campañas de recolección en campo para el procesamiento de la capa vectorial de CA para el año 2019.</i>	23
Tabla 3. <i>Datos obtenidos a partir de las campañas de recolección virtuales para el procesamiento de la capa vectorial de paisaje de CA para el año 2019.</i>	27
Tabla 4. <i>Resultados obtenidos de Cobertura arbórea por región según la división territorial administrativa de MIDEPLAN para el año 2019.</i>	49
Tabla 5. <i>Modificación del paisaje de cobertura arbórea en el año 2019 respecto a los datos calculados para el 2018 por región.</i>	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Flujograma de la metodología de trabajo para la elaboración de las capas vectoriales del paisaje de cobertura arbórea para el año 2019.</i>	13
Figura 2. <i>Flujo de trabajo para el levantamiento de información de campo dentro del MOCUPP.</i>	20
Figura 3. <i>Diseño de rutas en el servicio de Google My Maps.</i>	21
Figura 4. <i>Distribución de la malla de puntos por parcela.</i>	25
Figura 5. <i>Plantilla utilizada para la obtención de datos por medio de la metodología de campañas de recolección virtuales. A. Parámetros de la imagen. B. Características del LULC.</i>	27
Figura 6. <i>Distribución de los cuadrantes en Costa Rica para las imágenes del sensor Sentinel-2 del año 2019.</i>	29
Figura 7. <i>Resumen metodología general para la generación de mosaicos.</i>	31
Figura 8. <i>División de áreas de trabajo del proyecto MOCUPP en el territorio nacional.</i>	33
Figura 9. <i>Ejemplo de malla elaborada para el área 9.</i>	34
Figura 10. <i>Flujograma para el proceso de validación 1 para la capa del paisaje de cobertura arbórea.</i>	38
Figura 11. <i>Distribución de los puntos de validación 3 del paisaje de cobertura arbórea.</i>	40
Figura 12. <i>Distribución del paisaje de cobertura arbórea en Costa Rica. Año 2019.</i>	43
Figura 13. <i>Distribución del paisaje de cobertura arbórea en hectáreas por cantón, Costa Rica. Año 2019.</i>	44



Figura 14. Cantones con mayor cantidad de hectáreas del paisaje de cobertura arbórea en Costa Rica. Año 2019. 45

Figura 15. Porcentaje de ocupación del paisaje de cobertura arbórea según superficie cantonal. Año 2019. 46

Figura 16. Representación de los cantones con mayor cantidad de hectáreas de CA y de los cantones con mayor porcentaje de ocupación de CA para el año 2019. . 47

Figura 17. Área total, área de estudio y área de cobertura arbórea por región según la división territorial administrativa de MIDEPLAN para el año 2019..... 50

Figura 18. Distribución del paisaje de cobertura arbórea en los cantones de la región Chorotega. Año 2019. 51

Figura 19. Relación de los cantones de la Región Chorotega según el área (ha) de CA y el porcentaje de ocupación de CA dentro del área de estudio para el año 2019. 52

Figura 20. Distribución del paisaje de cobertura arbórea en los cantones de la región Brunca. Año 2019..... 53

Figura 21. Relación de los cantones de la Región Brunca según el área (ha) de CA y el porcentaje de ocupación de CA dentro del área de estudio. Año 2019. 54

Figura 22. Distribución del paisaje de cobertura arbórea en los cantones de la región Central. Año 2019. 55

Figura 23. Relación de los cantones de la Región Central según el área (ha) de CA y el porcentaje de ocupación de CA dentro del área de estudio. Año 2019. 56

Figura 24. Distribución del paisaje de cobertura arbórea en los cantones de la región Huetar Norte. Año 2019. 57

Figura 25. Relación de los cantones de la Región Huetar norte según el área (ha)



de CA y el porcentaje de ocupación de CA dentro del área de estudio. Año 2019.

..... 58

Figura 26. *Distribución del paisaje de cobertura arbórea en los cantones de la región*

Huetar Caribe. Año 2019...... 59

Figura 27. *Relación de los cantones de la región Huetar Caribe según el área (ha)*

de CA y el porcentaje de ocupación de CA dentro del área de estudio. Año 2019.

..... 60

Figura 28. *Distribución del paisaje de cobertura arbórea en los cantones de la región*

Pacífico Central. Año 2019...... 61

Figura 29. *Relación de los cantones de la región Pacífico Central según el área (ha)*

de CA y el porcentaje de ocupación de CA dentro del área de estudio. Año 2019.

..... 62



GLOSARIO DE TÉRMINOS

ArcGIS: Programa licenciado de Sistemas de Información Geográfica (SIG) utilizado para crear mapas, datos geográficos y otros tipos de análisis de un tema de interés en específico.

Área de estudio: 2 kilómetros a partir de los paisajes productivos de MOCUPP: palma, pastos y piña.

Band Select (Selección de bandas): Herramienta gratuita facilitada por ESA para la unión de bandas de imágenes multiespectrales a través de la plataforma SNAP.

Buffer: Zona de influencia de un área en específico determinada por una distancia establecida.

Capa vectorial: Es una estructura de datos utilizada para almacenar datos geográficos, constan de líneas o arcos definidos por puntos de inicio y fin y por los puntos donde se cruzan varios arcos (nodos) (Escobar, Bishop y Zenger, s.f)

Clasificación: Reconocimiento de clases o grupos cuyos miembros tengan ciertas características en común (Sacristán, 2006).

Cercas vivas: hileras de árboles de una o varias especies que conforman una barrera alrededor de lotes, además, representan beneficios para los ecosistemas alrededor (WWF, 2018).

Collect Earth: Programa gratuito y de código abierto para el monitoreo de la tierra desarrollado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).

Commodities: es una materia prima o producto agrícola primario que se puede comprar o vender, como el cobre, café, pastos, piña y palma aceitera. Normalmente se utilizan como insumos en la fabricación de otros productos más refinados (Instituto de Estudios Cajasol, 2021).

Earth Explorer: Plataforma gratuita para la visualización, búsqueda y descarga de imágenes satelitales.

Estadístico Kappa: Kappa mide el grado de concordancia de las evaluaciones nominales u ordinales realizadas por múltiples evaluadores



cuando se evalúan las mismas muestras (Minitab, 2022).

Fotointerpretación: Estudio general de las imágenes con el propósito de identificar, analizar, clasificar y establecer las deducciones para una mejor comprensión de los elementos que las integran (Catuna, 1995).

Fotointerprete: Persona que realiza la fotointerpretación.

Geodatabase: es una colección de datasets geográficos de varios tipos contenida en una carpeta de sistema de archivos común (ArcGis, 2019).

Gran Área Metropolitana: Representa el 3,84% del territorio nacional, comprende parcialmente cuatro provincias (San José, Alajuela, Cartago y Heredia), 31 cantones (algunos incluidos parcialmente) y 152 distritos (Tec Digital, 2014).

GPX: Formato estándar para el intercambio y almacenamiento de información de mapas en dispositivos GPS.

Imágenes de alta resolución: Una imagen de resolución más alta significa que los tamaños de píxeles son más pequeños, lo que proporciona más detalles (Setyawan,

2019). Existen diferentes satélites que brindan estas imágenes como: Airbus, Maxar Technologies, Planet Scope, entre otros.

Landsat: serie de satélites lanzados por la alianza entre National Aeronautics and Space Administration (NASA) y Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) que facilitan continuamente imágenes de la superficie de terrestre (United States Geological Survey [USGS], 2022).

Matriz de confusión: Una matriz muestra las clasificaciones previstas y reales. Una matriz de confusión es de tamaño “LxL”, donde “L” es el número de valores de etiqueta diferentes y estos se utilizan para evaluar la eficiencia de la clasificación (Provost y Kohavi, 1998).

Mosaic to new raster (Mosaico a un ráster nuevo): Herramienta de geoprocésamiento de ArcGIS que crea un mosaico de múltiples ráster en un ráster nuevo.

My Maps: Servicio de Google que permite a los usuarios crear mapas para uso propio.

Multi-espectral image (Imagen



multiespectral: Una imagen multiespectral es una colección de imágenes de la misma escena, cada una de ellas adquirida en una banda de longitud de onda particular (Nicolis y Gonzalez, 2021).

Otros Usos: Comprende todos aquellos usos no monitoreados por el proyecto MOCUPP.

Paisaje de Cobertura Arbórea: Comprende las áreas naturales, seminaturales o plantadas, constituidas principalmente por elementos arbóreos o arbustivos (especies nativas o exóticas) identificables a una escala de 1:10000, utilizando un píxel de 10x10 metros. Con una superficie mínima de 0,5 ha (UMC) cubierta por un dosel abierto o cerrado mayor o igual al 70% del área. Incluye: bosque en todas sus sucesiones, manglar, páramo y plantación forestal. Se incorporan, además, yolillales y bambusales debido a que, por la escala y resolución utilizadas, estas coberturas se asemejan a elementos arbóreos o arbustivos (Aguilar, Vargas, Ávila y Miller, 2020)

Paisaje Productivo de Palma: Áreas dedicadas al cultivo intensivo de

Elaeis guineensis. Se incluyen todos aquellos espacios e infraestructura inherentes al paisaje productivo que no puedan ser discriminados a una escala de 1:10000, utilizando un píxel de 10x10 metros, por ejemplo: caminos internos y drenajes, entre otros. Se considera una Unidad Mínima Cartografiada (UMC) de 0,5 ha (Aguilar, Vargas, Ávila y Miller, 2020).

Paisaje Productivo de Pastos: Áreas cubiertas por pastos naturales o establecidos, dedicadas al pastoreo y/o corta de forraje. La cobertura de copa de árboles, arbustos o palmas no conforma un dosel y es inferior al 70% del área de pastos de los segmentos analizados. Se incluyen todos aquellos espacios e infraestructura inherentes al paisaje productivo que no puedan ser discriminados a una escala de 1:10000, utilizando un píxel de 10x10 metros, por ejemplo: cercas vivas, caminos internos, entre otros. Se considera una Unidad Mínima Cartografiada (UMC) de 0,5 ha (Aguilar, Vargas, Ávila y Miller, 2020).

Paisaje Productivo de Piña: Áreas dedicadas al cultivo intensivo de



Annanas sp. Se incluyen todos aquellos espacios e infraestructura inherentes al paisaje productivo que no puedan ser discriminados con escalas entre 1:5.000 y 1:10.000, utilizando un píxel de 10x10 metros, por ejemplo: caminos internos, drenajes, áreas de retiro, exclusión y almacenamiento, entre otros (Aguilar, Vargas, Ávila y Miller, 2020).

Python: Python es un lenguaje interpretado, interactivo y orientado a objetos (Python, 2022).

QGis: Programa de acceso libre de Sistemas de Información Geográfica (SIG) utilizado para crear mapas, datos geográficos y otros tipos de análisis de un tema de interés en específico.

Ráster: Representación gráfica de los elementos de la naturaleza agrupados en celdas (píxeles), esas celdas albergan información como: imágenes satélites, mapas y otros. En conjunto esas celdas conforman una matriz.

Reclasify (Reclasificar): Herramienta de geoprocésamiento del programa ArcGIS que permite reclasificar los valores de un ráster basado en una lista resignación que

define como reclasificarlos.

Segmentación: Proceso que permite una búsqueda de regiones homogéneas en la imagen para que se dé una posterior clasificación (Arroyo, et al. 2005).

Sensores remotos: Sistemas o instrumentos que permiten captar información de un objeto a distancia (Servicios Geológico Minero Argentino [SEGEMAR], s.f.).

Script: Herramienta que se pueden usar para prototipar programas, automatizar tareas repetitivas, hacer procesamiento por lotes e interactuar con el sistema operativo y el usuario.

Sen2Cor: Herramienta gratuita facilitada por ESA para la corrección atmosférica de imágenes Sentinel-2 a través de la plataforma SNAP.

Sentinel 2: Es uno de los satélites del Programa Copérnico de la Unión Europea, que capta imágenes de mediana resolución entre los 10 metros hasta los 60 metros.

Shapefile: es un formato sencillo y no topológico que se utiliza para almacenar la ubicación geométrica y la información de atributos de las entidades geográficas.



Sistema de Posicionamiento Global (GPS): Servicio que proporciona a los usuarios información sobre posicionamiento, navegación y cronometría (Space-Based Positioning Navigation & Timing, S.f).

Sistema de Referencia de Coordenadas (SRC): Se refiere al conjunto de puntos y datos que permiten determinar la ubicación de cualquier punto en el espacio terrestre (Furones, 2010).

SNAP (Sentinel Application Platform / Plataforma de Aplicación Sentinel): Programa gratuito que distribuye ESA (European Space Agency) para trabajar con las imágenes de satélites Sentinel.

Tamaño de muestra: Número de unidades que se necesitan para conformar una muestra representativa. La muestra posee cierta posibilidad de error y nivel de

confianza, así como probabilidad (Hernández, et al. 2014).

Teledetección: Conjunto de técnicas desarrolladas desde diferentes disciplinas para obtener información a distancia de la tierra (Rodríguez et al, 2015).

Unidad Mínima Cartografiable (UMC): Unidad más pequeña de la superficie que se representa en un mapa o producto final, se define de acuerdo con la resolución que es registrada por el sensor y de la escala a la que se genere el levantamiento de la información por parte del intérprete (Marquina y Mogollón, 2018).

Validación: Actividad que asegura la calidad en la información geográfica para dar confiabilidad de esta en la toma de decisiones (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2017) .



LISTADO DE ACRÓNIMOS

AC: Área de Conservación

CA: Cobertura arbórea

CLC-CR: Corine Land Cover para Costa Rica

CENAGRO: Censo Nacional Agropecuario

CeNAT: Centro Nacional de Alta Tecnología

CENIGA: Centro Nacional de Información Geoambiental

CONAGEBIO: Comisión Nacional para la Gestión de la Biodiversidad

CONARE: Consejo Nacional de Rectores

CSAR: Comité Sectorial Agropecuario Regional

DRI: Dirección del Registro Inmobiliario

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

FONAFIFO: Fondo de Financiamiento Forestal

GAM: Gran Área Metropolitana

GEE: Google Earth Engine

GEF: Fondo Medio Ambiente Mundial

GPS: Sistema de Posicionamiento Global

HA: hectáreas

INFOAGRO: Sistema de Información del Sector Agropecuario Costarricense

IGN: Instituto Geográfico Nacional

INDER: Instituto de Desarrollo Rural

INEC: Instituto Nacional de Estadísticas y Censos

INH: Inventario Nacional de Humedales

INF: Inventario Nacional Forestal

INTA: Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria

Km: kilómetro

Km²: kilómetro cuadrado

LULC: Land Use Land Cover, por sus siglas en inglés

MAG: Ministerio de Agricultura y Ganadería

MEIC: Ministerio de Economía, Industria y Comercio

MIDEPLAN: Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica

MINAE: Ministerio de Ambiente y Energía

MOCUPP: Monitoreo de Cambio de Uso en Paisajes Productivos



NASA: Aeronáutica Nacional y Administración Espacial

ODS: Objetivos de Desarrollo Sostenible

PNUD: Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo

PRIAS: Laboratorio PRIAS

PROCOMER: Promotora de Comercio Exterior de Costa Rica

PSA: Pago de Servicios Ambientales

PPP: Paisaje Productivo de Pastos

REDD: Reducción de emisiones por deforestación y degradación de los bosques

RHN: Región Huetar Norte

RHA: Región Huetar Atlántica

RPC: Región Pacífico Central

RC: Región Central

RCh: Región Chorotega

RB: Región Brunca

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

SINAC: Sistema Nacional de Áreas de Conservación

SNIT: Sistema Nacional de Información Territorial

SNAP: Plataforma de aplicación de Sentinel

SINIA: Sistema Nacional de Información Ambiental

SRC: Sistema de Referencia de Coordenadas

UMC: Unidad Mínima Cartografiable

USGS: Servicio Geológico de los Estados Unidos



RESEÑA PROYECTO MOCUPP

El alcance de una economía social y ambientalmente sostenible, se ha convertido en una de las principales preocupaciones dentro de las agendas políticas de gran cantidad de naciones alrededor del mundo y es uno de los temas más importantes abordados dentro de cumbres, tratados y foros internacionales (FAO y PNUMA, 2020). Como parte de esta tendencia, Costa Rica, se ha comprometido a incrementar su cobertura forestal de un 52% a un 60% al año 2030 y a ser una de las primeras economías libres de huella de carbono al año 2050 (Troya, 2019).

Para la consecución de estos objetivos, resulta primordial una priorización de las inversiones, así como de los diferentes campos de acción. Un elemento fundamental en este aspecto, corresponde al acceso a datos espaciales que faciliten la obtención de una visión rápida de la realidad y que optimicen el proceso de toma de decisiones (Sasa y Acuña 2021).

De esta forma, entre los años 2011 y 2015, el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) a través de su Programa Green Commodities, planteó iniciativas como el Sistema de Monitoreo de Cambio de Uso en Paisajes Productivos (MOCUPP), el cual se perfiló como una herramienta innovadora de apoyo a la gestión del territorio, que mediante el uso de tecnología satelital, facilitará el monitoreo de cambios en el uso de la tierra y el análisis de los procesos de deforestación asociados a la dinámica agrícola en el país.

Actualmente, el MOCUPP es el componente 1 del Proyecto “Conservando la biodiversidad a través de la gestión sostenible en los paisajes de producción en Costa Rica (Proyecto Paisajes Productivos)”, liderado por el Gobierno de la República y financiado con recursos del Fondo Medio Ambiente Mundial (GEF).

Es al mismo tiempo, un proyecto de articulación institucional, ya que, además de la labor del PNUD como socio implementador, involucra tres entidades principales: el Laboratorio PRIAS del Centro Nacional de Alta Tecnología (CeNAT), la Dirección del Registro Inmobiliario (DRI) del Registro Nacional y el Instituto Geográfico



Nacional (IGN); asimismo, el Centro Nacional de Información Geoambiental (CENIGA) funge como enlace para la distribución de los datos en el Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) y el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG).

El MOCUPP se vincula de igual manera, con el Sistema de Monitoreo de Cobertura y Uso de la Tierra y Ecosistemas (SIMOCUTE) creado en el año 2015 por medio de la directriz ministerial del Ministro de Ambiente DM-417-201. Ambos comparten la misma geodatabase y son sistemas que se retroalimentan, pues la información más detallada del MOCUPP puede ser comparada y verificada con los datos a escala nacional generados por el SIMOCUTE (Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD], 2015).

La herramienta es considerada como una estrategia de bajo costo, que se basa en el uso de imágenes satelitales gratuitas para el monitoreo anual de tres tipos de paisajes productivos: piña, palma aceitera, pastos productivos y se adiciona el estudio paralelo de los procesos de ganancia y pérdida de cobertura arbórea, asociados al desarrollo de dichos paisajes. Asimismo, al generar información actualizada y de forma rápida, permite al usuario descargar y tener acceso a los archivos vectoriales elaborados dentro del proyecto.

Los datos generados por el proyecto, son difundidos de forma gratuita por el Sistema Nacional de Información Territorial (SNIT) y la plataforma GeoExplora del MIVAH, y son considerados como información de carácter e interés público debido a que: “integra el patrimonio científico y cultural de la nación, por tratarse de información sobre un derecho humano de incidencia colectiva como lo es el ambiente y, además, por recaer sobre bienes ambientales de dominio público” (PNUD, 2015, p.10)

El MOCUPP propicia igualmente, la creación de espacios que favorecen la participación activa de representantes de distintos ámbitos de la sociedad (economía, ambiente y academia) no sólo en la mejora continua de la herramienta, sino también en la toma de decisiones de vigilancia y protección de los recursos naturales.



I. RESUMEN

Desde el 2015 se trabaja en facilitar una herramienta que contribuya en la gestión del territorio nacional utilizando líneas base de monitoreo de los principales paisajes productivos tales como: piña, palma aceitera y pastos productivos. El Monitoreo de Cambio de Uso en los Paisajes Productivos en Costa Rica (MOCUPP) ha logrado actualizaciones anuales del aumento y pérdida de estos cultivos en términos de área. Por otro lado, desde los años 60 y hasta la actualidad, Costa Rica ha sufrido diferentes cambios en la cobertura arbórea donde ha sido deforestada y reforestada, debido a cambios en el modelo económico y legislativo en el país. Por esta razón en julio del 2020 se incluye el paisaje de cobertura arbórea dentro del MOCUPP monitoreando su distribución para los años 2018 y 2019. De esta manera, para el año 2019 se realizó una actualización de lo reportado en la capa vectorial de cobertura arbórea (CA) para el año 2018. Cabe mencionar que, para la actualización, el proyecto elaboró un área de influencia (buffer) con un radio de 2km de las capas de piña, palma aceitera y pastos generadas para el año 2019 y además utilizó el buffer elaborado a partir de estos mismos paisajes para el año 2018. La revisión y clasificación de CA se elaboró dentro de esta zona de amortiguamiento y se estimó la distribución de esta para 2019. Para llevar a cabo esta tarea se utilizaron imágenes satelitales del sensor Sentinel-2, con una combinación de las bandas 2, 3, 4 y 8, las cuales permitieron visualizar la imagen en color verdadero e infrarrojo. Los resultados obtenidos fueron validados con un 90% de confianza. La capa total del paisaje de cobertura arbórea para el 2019 cubre una superficie de 2.362.743,01 hectáreas lo que equivale a un 53,09 % del territorio costarricense incluido dentro del área de estudio, la capa obtuvo un 94,01% de exactitud y un estadístico kappa de 0,88.

Palabras clave: MOCUPP, PRIAS, Paisajes Productivos, Paisaje de Cobertura Arbórea



II. INTRODUCCIÓN

2.1. Antecedentes

A nivel mundial, gran parte de la biodiversidad terrestre es albergada por los bosques y otros sistemas forestales; estas coberturas proveen un importante entorno de diversos factores físicos para la existencia de especies, principalmente anfibios (80%), aves 75% y mamíferos (68%). Por otra parte, se dimensiona que existen alrededor de 60.000 especies de árboles, de los cuales 20.000 son considerados de importancia para la conservación de la naturaleza y 8.000 figuran como especies amenazadas (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la agricultura [FAO], 2020).

Dado a esto, la protección de los recursos forestales y la biodiversidad es un tema que ha alcanzado gran fuerza en los últimos años y está posicionada en muchas de las agendas internacionales como un instrumento esencial para el desarrollo de estrategias que aseguren la supervivencia humana. La aplicación de estas herramientas ha provocado que actualmente existan alrededor de 30.000 áreas protegidas a nivel mundial y aproximadamente 2.000 áreas protegidas en América Latina (Chavarría et al., 2019).

Uno de los principales países latinoamericanos que contribuye a la protección de recursos es Costa Rica, ya que posee más del 6% de la biodiversidad a nivel mundial y cuenta con una extensión terrestre de 51.100 km² y un extenso mar territorial de 589.683 km²; además, al formar parte del istmo Centroamericano que une a las grandes masas terrestres de América del norte y sur, aunado a la variabilidad topográfica y climática que predominan alrededor de todo el territorio, ha dado como resultado el desarrollo de especies únicas y la preservación de un elevado endemismo tanto de fauna como de flora (MINAE – SINAC – CONAGEBIO – FONAFIFO., 2018).



En Costa Rica hay diferentes organizaciones dedicadas a generar datos e información en materia ambiental, tal es el caso del Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC); la cual es una de las principales instituciones que ha impulsado el desarrollo cartográfico del país, con el objetivo de implementar una base de datos actualizada que provea información necesaria para llevar a cabo la implementación de la estrategia de reducción de emisiones por deforestación y degradación de los bosques (REDD) planteada en el país (Sistema Nacional de Áreas de Conservación [SINAC], 2015).

El SINAC para generar información de calidad, actualizada y de fácil acceso para los diferentes sectores forestales que están enfocados en la búsqueda del manejo y conservación de los recursos en el país, concluyó en el año 2015 el proyecto Inventario Nacional Forestal (INF) 2013-2014; donde se reportó que el 52,4% del territorio nacional está constituido por bosques maduros, bosques secundarios, bosques deciduos, manglares, bosques de palmas y plantaciones forestales (Hernández, et al., 2016). Los análisis realizados por el INF mencionan que la mayoría de los bosques corresponden a bosques con edades entre los 10 y 60 años (bosque secundario), y que los bosques primarios se encuentran en zonas con baja probabilidad de cambio de uso de la tierra dentro de las áreas silvestres protegidas (Sánchez-Azofeifa, 2015).

Por su parte, partiendo de la necesidad de que el país contara con una cartografía adaptada y actualizada sobre el uso del suelo, el Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA) en el año 2015 propuso implementar una leyenda Corine Land Cover para Costa Rica (CLC-CR), basándose en la metodología aplicada en Colombia; misma que fue validada y aceptada por diferentes entes gubernamentales y la participación de profesionales de diversas disciplinas (Rosales, 2015).

Otro de los entes encargados del desarrollo ambiental costarricense es el Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), que en el año 2014 inició las gestiones para



consolidar el Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA), como medio oficial para el ordenamiento de la información originada por las instituciones públicas, así como otros sistemas de monitoreo donde destaca el MOCUPP (Monitoreo de Cambio de Uso de Paisajes Productivos), los cuales laboran en coordinación con el Centro Nacional de Información Geoambiental (CENIGA) (Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD], 2015).

El MOCUPP fue creado para reforzar y agilizar el trabajo de las instituciones inmersas en materia ambiental, ya que es una herramienta que contribuye al fortalecimiento en la toma de decisiones mediante la generación de capas anuales de paisajes productivos de piña, palma aceitera y pastos a nivel nacional; así como, las capas de análisis de cambios relacionados con la pérdida, la ganancia o el no cambio de la cobertura arbórea asociada al paisaje productivo. Estos archivos vectoriales son publicados en el Sistema Nacional de Información Territorial (SNIT), los cuales son de libre acceso para el público en general (PNUD, 2015), encontrándose actualmente también en la plataforma GeoExplora del MIVAH.

Como parte del estudio correspondiente a los procesos de regeneración y pérdida de cobertura arbórea asociados al desarrollo de dichos paisajes; a principios de julio del 2020 se inició con la inclusión del paisaje de cobertura arbórea dentro del MOCUPP. Al igual que las capas de los paisajes productivos de pastos y palma aceitera, el primer año de monitoreo fue 2018 y para ello, se definió cobertura arbórea como: “las áreas naturales, seminaturales o plantadas, constituidas principalmente por elementos arbóreos o arbustivos (especies nativas o exóticas) identificables a una escala de 1:10000, utilizando un píxel de 10x10 metros. Con una superficie mínima de 0,5 ha (UMC) cubierta por un dosel abierto o cerrado mayor o igual al 70% del área. Incluye: bosque en todas sus sucesiones, manglar, páramo y plantación forestal. Se incorporan, además, yolillales y bambusales debido a que, por la escala y resolución utilizadas, estas coberturas se asemejan a elementos arbóreos o arbustivos” (Aguilar, Vargas, Ávila y Miller, 2020) y que se encuentre en un radio no mayor a 2 km de distancia de los paisajes productivos ya



incluidos dentro del MOCUPP.

El resultado de la capa vectorial del paisaje de cobertura arbórea para el año 2018 se divulgó y se publicó en el SNIT en el mes de abril del año 2021. Para el 2018 el total del paisaje de cobertura arbórea cubre una superficie de 2.227.962,24 ha lo que equivale a un 50,55% del territorio costarricense incluido dentro del área de estudio, la capa obtuvo un 93% de exactitud y un estadístico kappa de 0,87 (Ávila, et al., 2021)

Dado a los resultados obtenidos y la experiencia generada en el proyecto, el MOCUPP ha logrado implementar tecnologías de teledetección de bajo costo por medio de la aplicación de herramientas, técnicas y métodos con rigurosidad científica que han permitido obtener resultados de alta confiabilidad; lo que lo convierte en una herramienta innovadora de gestión territorial y en un puente de conocimiento para replicar en otros países.

2.2. Uso de tecnologías de teledetección para el monitoreo de paisajes productivos

A nivel mundial, la constante evolución en el campo científico ha provocado la inclusión de nuevos sistemas que faciliten la generación de datos geoespaciales dentro de los que destaca la teledetección; esta es una técnica de adquisición de datos de la corteza terrestre a partir de sensores remotos (Chuvienco, 2008); dichos sensores captan la interacción electromagnética entre estos y la superficie terrestre, generando una serie de datos espaciales del terreno, que luego son procesados para obtener información e interpretarla (Instituto Geográfico Nacional. , s.f).

En la órbita espacial alrededor del planeta tierra existen varios sensores remotos, donde sobresalen plataformas como Landsat y Sentinel. De este último, se data que envió su primer satélite el 23 de junio del 2015 y el segundo fue lanzado el 07 de marzo de 2017. La plataforma de Sentinel proporciona imágenes con una resolución espacial de 10, 20 y 60 metros y cuenta con un sensor de tipo “Multi-espectral



Image” con 13 bandas espectrales que van desde el rango de lo visible hasta el infrarrojo de onda corta (Weng, 2011).

La implementación de estas herramientas geo-espaciales han sido de enorme importancia en el desarrollo de múltiples estudios, dado que han registrado información con gran trascendencia y eficacia tecnológica (Jensen, 2014). Por otra parte, son instrumentos muy utilizados para identificar problemáticas a nivel mundial como la deforestación y el cambio climático; ya que generan datos de gran relevancia, que determinan los tipos de cobertura presentes en la tierra y los eventuales cambios que se producen en la superficie terrestre en determinados lapsos de tiempo (Sacristán, 2006).

Según Yang et al. (2018) y Shen et al. (2018), los avances en la teledetección han permitido la existencia de una amplia variedad de equipos y métodos necesarios que permiten adquirir y analizar datos espaciales de manera remota y con mejor exactitud. Así mismo, Benarchid et al. (2015) mencionan la importancia de actualizar este tipo de herramientas para automatizar el procesamiento de imágenes; como por ejemplo la segmentación, la cual permite agrupar píxeles cercanos y mutuamente excluyentes que representan terrenos con diferentes coberturas en la realidad (Costa et al., 2018), es decir aumenta la homogeneidad del paisaje y disminuye su respectiva heterogeneidad.

Para el análisis de coberturas de la tierra a través del uso de sensores satelitales, se debe tomar en cuenta un factor importante como lo es la fotointerpretación de imágenes; la cual conlleva una serie procedimientos visuales, que a partir de diversos parámetros (textura, forma, disposición, color, dimensiones, ubicación, entre otros) captados por el sensor, facilitan el proceso de clasificación mediante la asignación de códigos o clases a las coberturas analizadas visualmente por el fotointérprete (Avogadro y Padró, 2019), como se citó en (Aguilar, Calvo et al., 2021).

Cabe mencionar, que los mapas resultantes que son elaborados mediante técnicas de teledetección, están sujetos a errores en la clasificación; dado a esto es



necesario la generación de estadísticos de exactitud para verificar e identificar coberturas codificadas de forma errónea (Olofsson, et al., 2014). La aplicación de matrices de confusión es uno de los procesos más utilizados para verificar la exactitud (Khatami et al., 2017), la cual determina la exactitud global e individual de las clases de usos y coberturas clasificadas, en comparación con las regiones de interés seleccionadas sistemática o aleatoriamente por el validador (Bermúdez, 2018).

Además, la validación de los resultados a través de un análisis estadístico permite transparencia y certidumbre en la presentación de los datos cuantitativos y cualitativos generados. Lo que proporciona a futuros usuarios un alto nivel de confianza en el uso de los datos y la posibilidad de replicar la metodología empleada (Emanuelli et al., 2016).

2.3. Justificación

En Costa Rica, la cobertura forestal constituye un patrimonio natural de gran extensión que es finita e invaluable y representa una gran importancia en los ámbitos económicos y naturales; sin embargo, a causa de la actividad antrópica se ha visto en peligro (Zanetti et al., 2017). En el país los procesos de deforestación frontal ocurridos entre los años 1960 y 1986 se originaron principalmente por términos del costo de oportunidad de la tierra (Sánchez-Azofeifa, 2015), por lo que la cobertura forestal pasó de 59,5% a 40,8%; causando el deterioro, degradación, fragmentación y reducción del 75% de la cobertura natural (Vargas-Rojas, 2021).

Esta modificación en los usos de la tierra, se prevé que tuvo influencia directa por la construcción de caminos públicos a orillas de áreas boscosas, donde la tendencia natural fue remover el bosque y practicar agricultura, ganadería y extracción de madera por el fácil acceso a los mercados (Canet, 2015).

Luego de ese periodo de deforestación, se inició con una fase de recuperación forestal basado en la implementación de políticas de conservación que realizaron



varios gobiernos; algunas de las principales acciones alcanzadas fue la promulgación de la Ley Forestal de 1996, el Pago por Servicios Ambientales (PSA) y la transformación de la economía nacional en una de servicios, entre otros (Sánchez-Azofeifa, 2015).

Asimismo, Costa Rica al conservar más del 27% de su territorio bajo un sistema de áreas protegidas como por ejemplo: parques nacionales, reservas biológicas y corredores biológicos, ha provocado que los porcentajes en los procesos de conservación participativa incrementen (MINAE – SINAC – CONAGEBIO – FONAFIFO., 2018). Por otra parte, el país al asegurar la integridad de las áreas protegidas, fortalecer el pago de Servicios Ambientales, reforzar el sistema para crear corredores biológicos y el monitoreo de los cambios de uso del suelo relacionados a actividades agrícolas y ganaderas ha contribuido con el crecimiento forestal responsable, el cual ha sido de un 3% adicional del carbono almacenado por los bosques en todo el país (Banco mundial, 2016).

Bajo esa misma línea evolutiva de mantener y aumentar los porcentajes de recuperación forestal, se da la importancia de implementar nuevas tecnologías y estudios que generen datos actualizados, de libre acceso y que sean gratuitos para los diferentes productores que opten por demostrar cuales fincas mantienen o aumentan la cobertura arbórea y puedan ser seleccionados para alguna de las modalidades de PSA (Ávila, et al., 2021).

Por otra parte, benefician a empresas y personas productoras con certificaciones nacionales e internacionales que demuestra que los productos adquiridos son originados de forma sostenible, mediante la preservación de la biodiversidad, la belleza escénica, la conservación del recurso hídrico y la captura de dióxido de carbono. Además, que favorece la planificación de las fincas, al permitir el aprovechamiento óptimo del espacio físico y la diversificación de la producción (Ávila, et al., 2021).



El MOCUPP es un proyecto que recopila datos importantes que colaboran con el trabajo que realizan otras instituciones enfocadas en la parte ambiental, generando insumos base que promuevan la carbono neutralidad y la sostenibilidad productiva del país. Por ello, el presente estudio tuvo como objetivo principal la actualización de manera digital y a bajo costo de la capa vectorial del paisaje de cobertura arbórea para el año 2019; además, de conocer el estado real de la CA alrededor de los paisajes productivos monitoreados (Aguilar, Calvo et al., 2021).

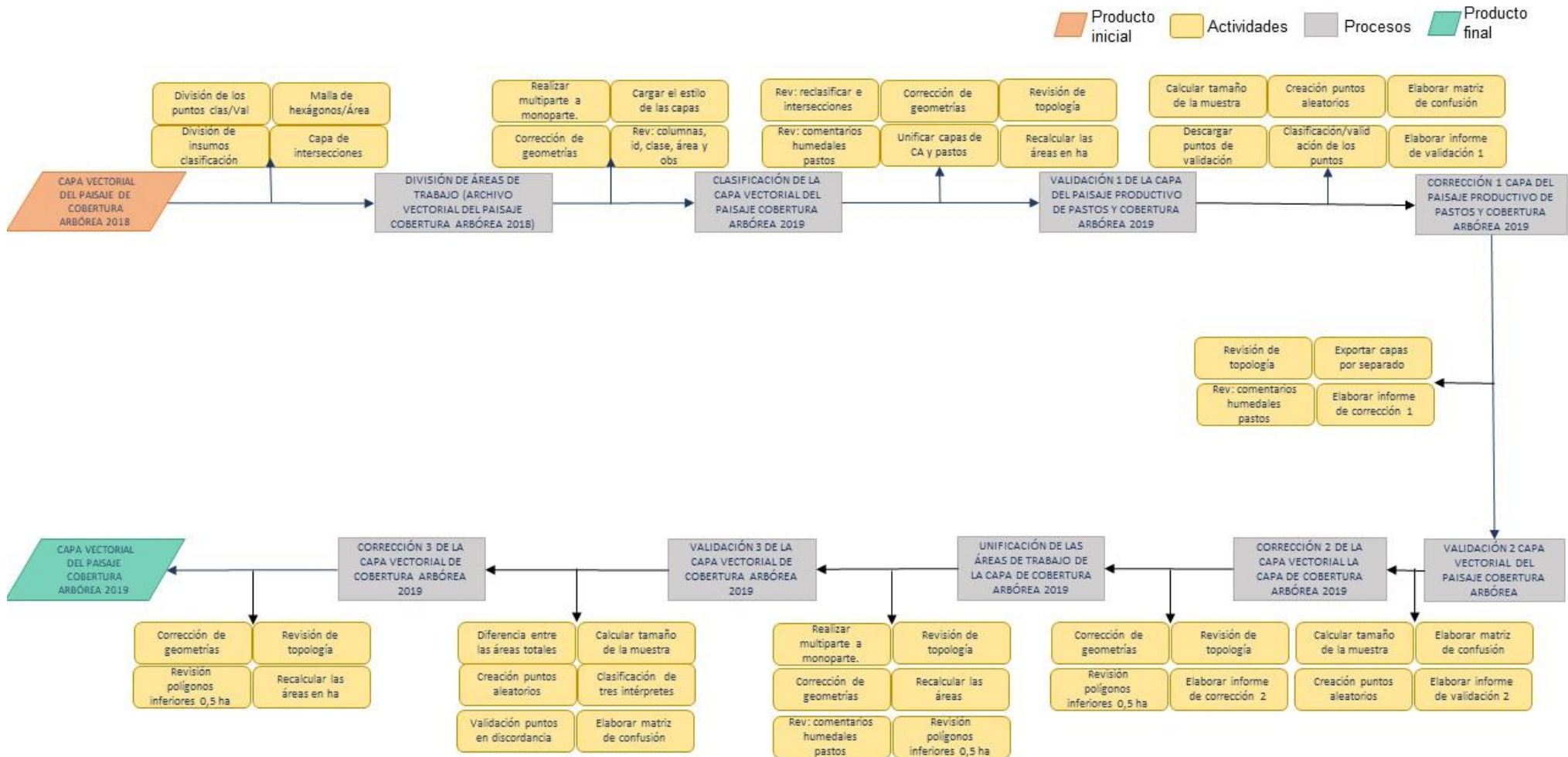


III. METODOLOGÍA

3.1. Diagrama de flujo del proceso metodológico PPP

El proceso metodológico aplicado para el paisaje de cobertura arbórea en la generación de la capa vectorial del año 2018 tanto en la fase piloto del proyecto como en la generación de las capas vectoriales del año 2018, permitió evaluar, desarrollar y proponer la metodología más adecuada para la actualización de las capas finales del paisaje de cobertura arbórea para el año 2019 (Figura 1).

Figura 1. Flujograma de la metodología de trabajo para la elaboración de las capas vectoriales del paisaje de cobertura arbórea para el año 2019.



3.2. Descripción de la zona de estudio

De acuerdo con la división regional de Costa Rica, dada mediante los decretos ejecutivos N° 9501-POP del 11 de enero de 1979 y N° 10653-P-OP del 5 de octubre de 1979, el país está conformado por seis regiones socioeconómicas: Región Central, Región Chorotega, Región Pacífico Central, Región Brunca, Región Huetar Caribe y Región Huetar Norte, esto con el objetivo de alcanzar un mejor desarrollo económico y social (Poder Ejecutivo, 1985).

El área de estudio del paisaje de cobertura arbórea correspondió al área de influencia ubicada a 2km desde los paisajes productivo de pastos, piña y palma aceitera analizados, la cual, para efectos de planificación, clasificación y actualización de usos del suelo se dividió en 16 áreas de trabajo, mismas que fueron calculadas en función del peso obtenido a partir de la presencia del paisaje de cobertura arbórea al año 2018.

Por su parte, el análisis de los datos se trabajó por cantones según una modificación de la capa oficial disponible en el SNIT (actualizada al año 2022) y por regiones según los datos de MIDEPLAN (actualizada al año 2020), esto con el objetivo de maximizar el aprovechamiento de la información publicada por diferentes organizaciones y de estandarizar la información generada dentro de los paisajes productivos del MOCUPP.

3.2.1. Región Central (RC)

La Región Central, como su nombre lo indica, se localiza en la parte central del país, limita al norte con la región Huetar Norte, al este y noreste con la región Huetar Caribe, al sur con la región Brunca y al suroeste con la región Pacífico Central (Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica [MIDEPLAN], 2017).

Esta región comprende más de la mitad de los cantones del país, se subdivide en 45 cantones los cuales pertenecen a las provincias de Cartago, Heredia (excepto Sarapiquí), San José (excepto el cantón de Pérez Zeledón) y Alajuela (excepto Orotina, Río Cuarto, San Mateo, San Carlos, Upala, Los Chiles y Guatuso)

(MIDEPLAN, 2017). Cabe mencionar que los distritos de Sarapiquí y Peñas Blancas del cantón de San Ramón, que pertenecen a la Región Huetar Norte, fueron incorporados en el análisis de la Región Central, ya que la mayor parte de su área cantonal se encuentra en dicha región.

Entre las principales actividades económicas, en la producción agropecuaria destaca el cultivo de café, caña de azúcar, plantas ornamentales, fresas, flores, chayotes, papas y cebollas; asimismo sobresale la ganadería de leche. Las actividades económicas se relacionan principalmente con el comercio, la venta de servicios, turismo, tecnologías de información e industria manufacturera (textiles, artículos varios, químicos, industrias electrónicas, metalúrgicas y alimentarias) (MIDEPLAN, 2017).

3.2.2. Región Pacífico Central (RCP)

La región limita al norte con los cantones de Puriscal, Tarrazú, Acosta, Turrubares de la provincia de San José; de la provincia de Alajuela con el cantón de San Ramón y con Abangares de la provincia de Guanacaste. Al este limita con los cantones de Pérez Zeledón, Dota y Turrubares de la provincia de San José y con el cantón de Osa de la provincia de Puntarenas (Araya, 2015).

La Región Pacífico Central se localiza al centro oeste de la costa pacífica de Costa Rica. Su división territorial se encuentra conformada por ocho cantones: San Mateo y Orotina de la provincia de Alajuela; Esparza, Quepos, Parrita, Garabito y Montes de Oro de la Provincia de Puntarenas (Araya, 2015). Es la región más pequeña del país, cuenta con una extensión de 3.910,58 km², que equivalen a 390.272,24 ha y posee un total de 243.295 habitantes (Promotora de Comercio Exterior de Costa Rica [PROCOMER], 2020).

Las principales actividades económicas son las agropecuarias, donde destaca la palma aceitera, el arroz, la caña, la apicultura, el ganado de carne y de leche; además, se estiman 65.030 ha dedicadas a la actividad forestal y 119.531 ha destinadas a la conservación (Araya, 2015). Por su parte, la actividad ganadera se caracteriza por

generar alrededor de 3.932 empleos directos que van de la mano con la fabricación de quesos, el transporte y las subastas. Así como, más de 350 empleos derivados de la comercialización de carne y ventas de insumos pecuarios (Barrantes y Jiménez, 2007).

3.2.3. Región Brunca (RB)

La Región Brunca se localiza al sureste del país y limita con las siguientes provincias y cantones: Cartago con los cantones de Paraíso, Turrialba, al noreste con Limón, específicamente el cantón de Talamanca, al noroeste con los cantones de Dota y Tarrazú de la provincia de San José, al suroeste con el cantón de Aguirre de Puntarenas, al sureste con Panamá y al sur con el Océano Pacífico (Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica [MIDEPLAN], 2006b).

Esta región la conforman seis cantones: Osa, Buenos Aires, Coto Brus, Corredores, Golfito de la provincia de Puntarenas y Pérez Zeledón de la provincia de San José. Tiene una extensión de 9.528,44 km², que representa un 18,6% del territorio nacional y posee aproximadamente 334.621 habitantes (MIDEPLAN, 2006b).

Entre las principales actividades económicas de la región destaca la producción agropecuaria de cultivos como el café, frijol, raíces y tubérculos, maíz, rambután, mora, piña, hortalizas, plátano, arroz, caña de azúcar y palma aceitera, asimismo, se desarrolla la actividad ganadera, pesquera y acuicultura (MIDEPLAN, 2017).

3.2.4. Región Huetar Caribe (RHC)

La región Huetar Caribe, tiene una extensión de 9.188,52 km², se localiza en la parte oriental del país y abarca toda la provincia de Limón. Limita al norte con Nicaragua, al sureste con Panamá, al sur con la Cordillera de Talamanca de la provincia de Puntarenas, al oeste con Heredia y Cartago y al este con el Mar Caribe. Dentro de la región se encuentran los cantones de Talamanca, Pococí, Limón, Siquirres, Matina y Guácimo (Mora, 2020).

En el ámbito económico, la región se basa en el comercio, la prestación de servicios, la actividad ganadera y el cultivo de banano, piña, plátano y cacao; también se caracteriza por ser el principal punto de acceso al país desde el mar Caribe, lo cual permite el desarrollo portuario del sector transporte y comunicaciones (MIDEPLAN, 2017).

3.2.5. Región Huetar Norte (RHN)

La Región Huetar Norte limita al norte con Nicaragua, al sur con la región Central, al este con la región Huetar Atlántica y al oeste con la región Chorotega. La conforman el cantón de Sarapiquí de la provincia de Heredia, los cantones de San Carlos, Los Chiles, Guatuso, Río Cuarto, Upala, además de los distritos del cantón de Grecia, Sarapiquí del cantón de Alajuela y Peñas Blancas del cantón de San Ramón; de la provincia de Alajuela. Tiene una extensión de 9.803,40 km² y un total de 304.088 habitantes de acuerdo con el censo de población 2011 (Zevallos, 2013).

La Región Huetar Norte, es una de las regiones con menor desarrollo económico y social, dentro de las principales actividades económicas se encuentra la agricultura, la ganadería y la pesca (Zevallos, 2013).

3.2.6. Región Chorotega (RCh)

La Región Chorotega se ubica al norte del país, limita al norte con Nicaragua, al sur con la Región Pacífico Central y el Océano Pacífico, al Oeste con la Región Huetar Norte y al este con el Océano Pacífico. Se encuentra dividida en once cantones: Liberia, Bagaces, Abangares, Tilarán, Cañas, Santa Cruz, Carrillo, Nandayure, Hojancha, Nicoya y La Cruz. Tiene una extensión de 10.140 km² y un total de 326.953 habitantes (Comité Sectorial Regional Agropecuario [CSRA], 2015).

El potencial económico de la región se caracteriza por la ganadería y la agricultura, en donde destaca el cultivo de granos básicos como el arroz, maíz y frijol. También, el turismo es una de las principales actividades económicas, que ha permitido un mejor desarrollo en la región (Comité Sectorial Agropecuario de la Región Chorotega, 2017).

3.3. Planificación de toma de puntos de control y validación

La recolección de puntos de control en campo fue una fase de suma importancia para el proyecto, ya que permitió tener información real del terreno durante el periodo de estudio. Especialmente, de las clases o usos del suelo evaluados, en este caso del paisaje de cobertura arbórea y otros usos, los cuales pueden mostrar comportamientos espectrales similares y tender a confundirse entre sí en los procesos de clasificación y digitalización de las imágenes satelitales.

Para el año 2020, debido a las nuevas condiciones de trabajo generadas como respuesta ante la pandemia por SARS-Cov-2, se requirió implementar los protocolos establecidos a nivel nacional e institucional. De esta manera, la recolección de puntos de control y validación se llevó a cabo mediante campañas presenciales (ver sección 3.3.2) y virtuales (ver sección 3.3.3).

A partir de la información obtenida se facilitó la interpretación de las imágenes satelitales Sentinel-2 durante el proceso de actualización de las capas al año 2019. A continuación, se detallan los pasos necesarios para dicha recolección.

3.3.1. Definición del tamaño de la muestra

La cantidad de puntos por obtener en las campañas de recolección de campo debió ser una muestra representativa de la zona de estudio, tomando en cuenta los intereses estadísticos del proyecto.

De acuerdo con Chuvieco (2010), para una imagen clasificada en donde la variable es categórica y no cuantitativa, se recomienda utilizar una distribución binomial de probabilidad. Por esto, para el cálculo de la cantidad mínima de puntos a recolectar tanto en campo como en campañas virtuales se aplicó la fórmula que se utiliza para establecer el tamaño de la muestra para los procesos de validación, con ello se estima el valor de puntos necesarios a recolectar.

Basado en el criterio experto de los investigadores del Laboratorio PRIAS se optó, únicamente para el caso de la recolección de puntos de campo, por duplicar este valor con el objetivo de utilizar un 50% de los puntos en el proceso de clasificación y el otro 50% para el proceso de validación; logrando con ello, maximizar los recursos y brindar un mejor aprovechamiento de las campañas de recolección en campo (Aguilar, et al., 2019).

La fórmula utilizada está dada por:

Fórmula 1:
$$n = \frac{z^2 pq}{L^2}$$

Donde las variables a analizar son las siguientes:

n: Tamaño de la muestra

z: Nivel de probabilidad

p: Porcentaje estimado de aciertos

q: El porcentaje de errores $((1-p)*100)$

L: El nivel permitido de errores

El cálculo del tamaño de la muestra se realizó para cada región según la regionalización de MIDEPLAN, donde la variable z corresponde a un valor de 1,96 definido a un 95% de probabilidad. Para el caso de p y q los valores dependen de la cantidad del paisaje de cobertura arbórea presentes en cada una de las regiones, la cual se obtuvo a partir de los datos resultantes de la capa vectorial del paisaje cobertura arbórea del año 2018 (Aguilar, Calvo et al, 2021). Por último, L se definió con un error permitido de un 5%.

3.3.2. Levantamiento de puntos de control en campo

A partir del año 2020 el proyecto MOCUPP cuenta con una nueva metodología para la recolección de datos de campo, la cual aplica para todos los paisajes productivos analizados. Dicha metodología está conformada por cinco etapas, las cuales desarrollan a continuación (Figura 2).

Figura 2. Flujo de trabajo para el levantamiento de información de campo dentro del MOCUPP.



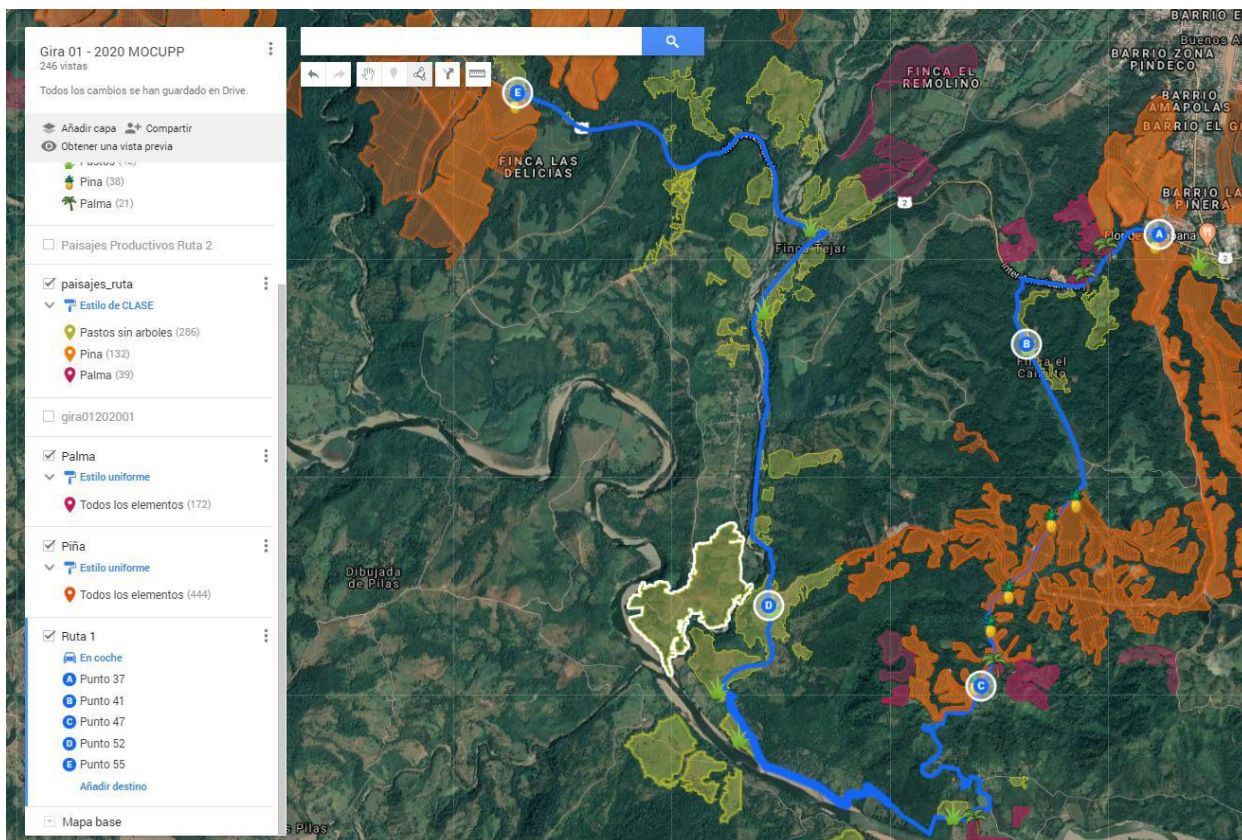
Fuente: (Aguilar, Vargas, Ávila, Miller, & Romero, 2020) (Aguilar, Vargas, Ávila, Miller, y Romero, 2020).

3.3.2.1. Planificación de rutas

Una vez definida el área de estudio y calculado el tamaño de la muestra se procedió a cargar las capas generadas por el MOCUPP para el año 2018 (piña, palma aceitera, pastos y cobertura arbórea) en formato Keyhole Markup Language (KML) en el servicio de Google My Maps, el cual es de acceso libre o bajo licencia.

En la figura 3, se muestra la plataforma My Maps donde es posible trazar rutas y agregar puntos, lo que permite generar un itinerario previo a la visita de campo y abarcar la mayor cantidad de área en la zona de interés. Por lo que, además de las capas del MOCUPP, fueron considerados en el trazado de las rutas, los puntos identificados previamente en procesos de clasificación o revisión, como por ejemplo áreas de monitoreo y/o verificación (Aguilar, Vargas, Ávila, Miller, y Romero, 2020).

Figura 3. Diseño de rutas en el servicio de Google My Maps.



Fuente: (Aguilar, Vargas, Ávila, Miller, y Romero, 2020).

3.3.2.2. Muestreo de puntos de control y validación

Basado en el criterio de las personas investigadoras del laboratorio PRIAS al momento de llevar a cabo la recolección de los datos se clasificaron los puntos según las siguientes definiciones presentadas en la Tabla 1.

Tabla 1. *Clasificación de los puntos según situación de campo.*

Puntos de monitoreo (302 puntos)	Los puntos de monitoreo corresponden a los puntos que son verificados en campo a partir del valor del año anterior. Ejemplo: Visita a un área de palma aceitera monitoreada en la capa 2018.
Puntos de muestreo (2047 puntos)	Los puntos de muestreo corresponden a todos aquellos puntos nuevos que se miden en el sitio de la gira y que corresponden a la cobertura observada en el momento de la captura del dato, son puntos que no son parte del monitoreo, ya que no hay presencia de polígonos previos de la cobertura observada. Ejemplo: Identificación de un área de palma aceitera que no fue monitoreada en la capa del 2018 ni fue ubicada por medio de la revisión previa de las regiones.
Puntos de revisión (720 puntos)	Los puntos de revisión son todos aquellos puntos ubicados durante el proceso de clasificación y digitalización de los paisajes productivos y que el investigador del Laboratorio PRIAS identificó como de importancia para verificación en campo. Ejemplo: Visita a un punto de palma aceitera identificado durante la revisión previa de las regiones.

Fuente: (Aguilar, Vargas, Ávila, Miller y Romero, 2020).

La obtención de los puntos de campo se realizó aplicando el protocolo de campañas de recolección de datos propuesto por Aguilar, Vargas, Ávila, Miller y Romero (2020). Estas categorizaciones se le dan a los puntos en campo y sirven como un control para la revisión de las áreas de trabajo; sin embargo, esta clasificación de puntos no es contemplada en la fotointerpretación por lo que no se contabilizan por clase como tal, sino se implementa la división para definir los puntos de validación según los diversos paisajes monitoreados. El protocolo indica que:

Una vez situados en el área de estudio, se recorrieron las rutas definidas tomando puntos de muestreo cada dos kilómetros. En caso de que el punto se clasificara como de monitoreo se capturó la información de dicho polígono y no se reinició la cuenta de la distancia. Si al detenerse a los dos kilómetros no se identificó ningún tipo de paisaje de interés, el punto se omitió y se continuó con el recorrido (p.22).

En cada sitio de levantamiento de información se utilizó un formulario de campo físico para respaldar los datos obtenidos, el cual se conformaba por:

- a) las coordenadas geográficas del punto de referencia generadas con un GPS.

b) el azimut al que se encontraba el paisaje con respecto al punto de referencia medido con una brújula.

c) la distancia a la que se encontraba el paisaje con respecto al punto del GPS, calculado por medio de la utilización de la regla de medición de distancias de la aplicación Google Earth, o bien, por estimación en campo.

d) una fotografía del paisaje adquirida con una cámara profesional.

Durante las campañas de recolección de datos para la elaboración de las capas 2019, fue posible disponer del apoyo y participación de colaboradores del MAG de las Direcciones Regionales visitadas, dicha cooperación fue de suma importancia gracias al amplio conocimiento, en la dinámica de los cultivos y en las condiciones de terreno de las zonas, con el que cuenta cada uno de los colaboradores. Para ello se coordinó en primera instancia con la persona encargada de la coordinación general de cada regional, el cual asignó las personas participantes de cada campaña.

Para el monitoreo de los paisajes analizados por el MOCUPP para el año 2019, se llevaron a cabo un total de 15 campañas de recolección de campo de 5 días cada una, de las cuales 11 se realizaron en el año 2021 y cuatro en el año 2022. A partir de estas visitas de campo se recolectó un total de 3.069 puntos de control (Tabla 2). Para la clasificación de la capa del paisaje de cobertura arbórea se utilizó como insumo 855 puntos con una distribución de un 50% para este proceso y el otro 50% para la posterior validación.

Tabla 2. Datos obtenidos a partir de las campañas de recolección en campo para el procesamiento de la capa vectorial de CA para el año 2019.

PUNTOS DE CAMPO					
AÑO	PASTOS	CA	PIÑA-PALMA-OTROS USOS	INTERSECCIONES	TOTAL
2020	1.073	681	796	0	2.550
2021	276	174	53	16	519
TOTAL	1.349	855	849	16	3.069

3.3.2.3. Procesamiento de datos

La información adquirida en campo fue digitada y respaldada en una hoja de cálculo de Excel en formato XLS, esto con el fin de preparar los datos y posteriormente proceder al cálculo de las nuevas coordenadas. Para ello, fue necesario importar los puntos en el programa QGIS en formato de intercambio GPX y guardarlos como un archivo en formato ESRI Shapefile (SHP) con el SRC CRTM05.

Seguidamente, con el archivo SHP de los datos, la distancia y el azimut adquiridos para cada punto de referencia tomado en las vías de acceso, se realizó por medio del software Microsoft Excel, la generación de los puntos con las coordenadas correspondiente a cada uso del suelo analizado. Este producto se guardó en formato “Comma Separated Values” (CSV) para ser importado en el programa QGIS, a través de la herramienta “Añadir capa de texto delimitado”, específicamente en la opción de “CSV (valores separados por coma)” para finalmente ser exportados como archivo shape en CRTM05.

Para más detalle del proceso de obtención de información en campo, acudir al documento “Protocolo para el levantamiento de la información de campo dentro del proyecto MOCUPP” (Aguilar, Vargas, Ávila, Miller y Romero, 2020)¹.

3.3.3. Levantamiento de información virtual

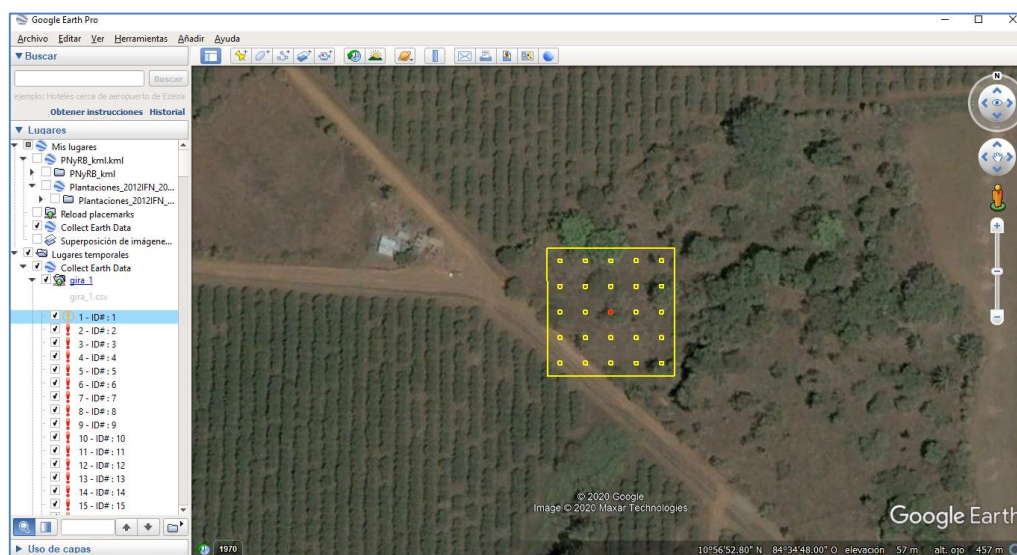
Como se mencionó anteriormente, debido a la pandemia por SARS-Cov-2 y las directrices nacionales e institucionales dirigidas a reducir el riesgo de contagio y la exposición, fue necesario desarrollar un protocolo de levantamiento de información que permitiera continuar con el procesamiento de los datos. Es por ello que se incorpora la metodología de campañas virtuales para cumplir con el tamaño de la muestra necesaria para la validación de cada paisaje productivo. Dicho proceso metodológico se presenta a continuación

¹<https://repositorio.conare.ac.cr/handle/20.500.12337/8351>

Para la clasificación de los puntos, se definió utilizar cinco categorías de uso de la tierra definidas por el MOCUPP (piña, palma aceitera, pastos, cobertura arbórea y otros usos); además, se implementó el uso de nuevas plataformas como Collect Earth y Google Earth Pro y algunas imágenes como Airbus, Maxar Technologies, Planet Scope, Sentinel-2, y Landsat 7 y 8.

El proceso de muestreo consistió en el uso de parcelas cuadradas con una unidad mínima cartografiable de 0,5 ha; a cada parcela se le creó una malla de 25 puntos con una distribución sistemática (Figura 4), para determinar el uso y cobertura de la tierra predominante se utilizó el término “Land Use Land Cover (LULC)”, el cual hace referencia al uso y cobertura de la tierra de manera conjunta y se enfoca en la distinción de los posibles cambios de uso.

Figura 4. Distribución de la malla de puntos por parcela.



Fuente: (Duarte, 2020).

Para este proceso se realizó un total de siete campañas de recolección virtuales de 5 días cada una, donde se interpretaron, para cada una de ellas, 400 puntos, para un total de 2.800 puntos aleatorios obtenidos. Por otro lado, como resultado de los estudios realizados por el laboratorio PRIAS en conjunto con la NASA en temas como el monitoreo de paisajes, se logró identificar que un 90% de la expansión de los cultivos se efectúa dentro de un radio de 2.000 metros alrededor de estos (NASA-

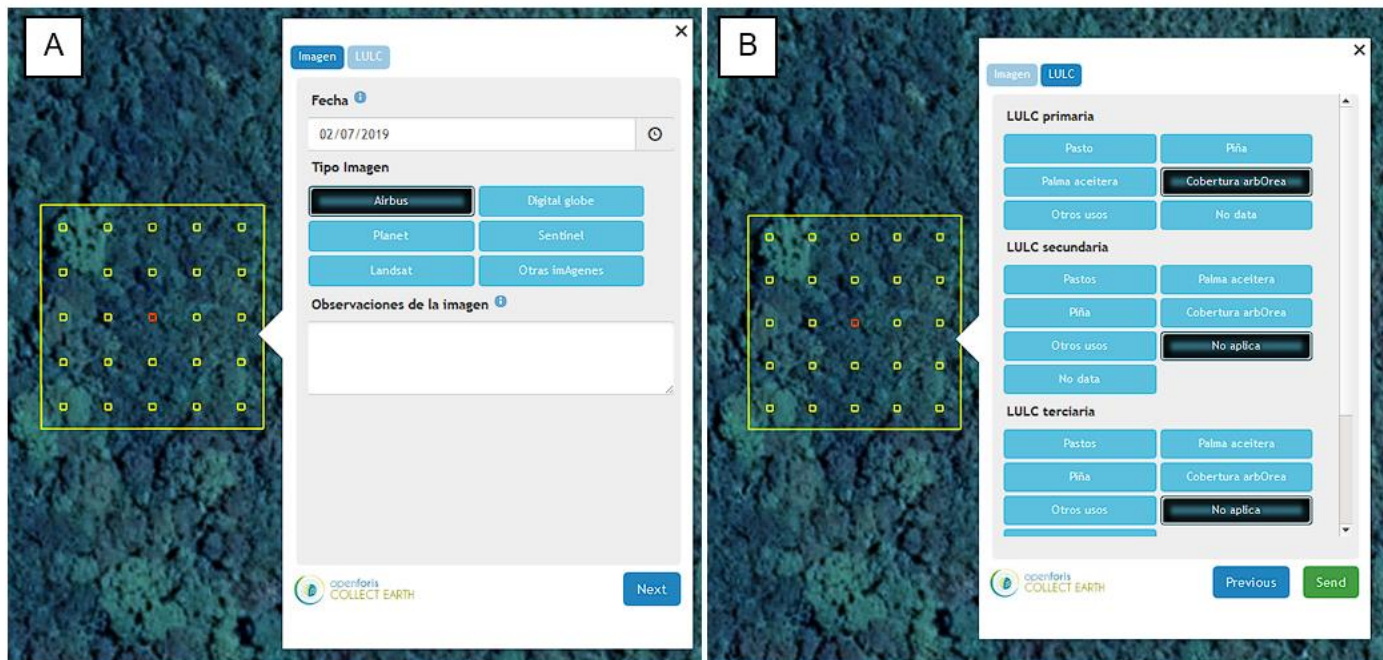
DEVELOP, 2020); razón por la cual, se creó un buffer de 2x2 km que permitió crear los puntos de interpretación para la muestra del área basado en el paisaje de cobertura arbórea, mismo que es de importancia para los paisajes productivos de piña, palma aceitera y pastos.

El registro e interpretación del LULC se realizó por medio de una plantilla que recolectó información como: la fecha de la imagen utilizada, el tipo de imagen correspondiente y observaciones generales de la misma, esto en la primera ventana. Para la segunda ventana se incorporaron datos específicos del LULC de cada parcela; el cual se clasificó en varias categorías dependiendo del porcentaje de presencia de cada paisaje analizado por el MOCUPP, dicho cálculo se realizó partiendo de que cada punto dentro de la parcela representó un 4% del área total de la parcela (Figura 5).

Según Duarte (2020), las tres categorías utilizadas para la interpretación del LULC son las siguientes:

- LULC primaria: Se seleccionó la categoría de uso del MOCUPP (piña, palma, pastos, cobertura arbórea y otros usos) que predomina en la parcela. En caso de que no haya imagen de referencia se seleccionó “No data”.
- LULC secundaria: Se seleccionó la segunda categoría de uso del MOCUPP que se observa, y que comprende una menor área de la parcela con respecto al LULC primaria (menos del 49% de ocupación del total de la parcela). En caso de que no se presente un segundo uso del MOCUPP se seleccionó la opción “No aplica” o “No data”.
- LULC terciaria: Se seleccionó la tercera categoría de uso del MOCUPP que se observa y que comprende una menor área de la parcela con respecto al LULC secundaria (menos del 30% de ocupación del área total de la parcela). En caso de que no se presente un tercer uso del MOCUPP se seleccionó la opción “No aplica” o “No data”.

Figura 5. Plantilla utilizada para la obtención de datos por medio de la metodología de campañas de recolección virtuales. A. Parámetros de la imagen. B. Características del LULC.



Fuente: (Duarte, 2020)

Para el proceso de clasificación y validación de la capa para el año 2019 se utilizó un total de 1.473 puntos de control (Tabla 3), cuyo LULC primario corresponde al paisaje de cobertura arbórea, estos fueron obtenidos por medio de campañas de recolección virtuales, según el criterio de las diferentes personas intérpretes.

Tabla 3. Datos obtenidos a partir de las campañas de recolección virtuales para el procesamiento de la capa vectorial de paisaje de CA para el año 2019.

PUNTOS VIRTUALES				
CATEGORÍA	LULC 1	LULC 2	LULC3	TOTAL
COBERTURA ARBÓREA	1.473	482	11	1.966

Fuente: (Duarte, 2020)

Para más detalle de la interpretación de la información obtenida a partir de campañas de recolección virtuales, acudir al documento “Protocolo de trabajo: Interpretación

visual de puntos de muestreo para determinar el LULC en paisajes productivos del MOCUPP” (Duarte, 2020)².

3.4. Tratamiento de imágenes satelitales

El proyecto MOCUPP, a través de los años de estudio ha utilizado como insumo principal las imágenes brindadas por el sensor Sentinel-2, ya que son imágenes de acceso libre, de resolución espacial media (10 metros) y que cuentan con una temporalidad de 10 días por separado; ya que, al poseer dos satélites operativos en órbita, alcanzan una resolución temporal de 5 días bajo las mismas condiciones de iluminación (Copernicus, 2018).

No obstante, en caso de existir escasez de insumos para un área específica por parte del sensor Sentinel-2, cabe destacar que se pueden utilizar como recursos complementarios, las imágenes del sensor Landsat 8, las cuales cuentan con una resolución espacial media (30m) y son de acceso libre al público. También se incorporó la utilización de los datos generados por el programa NICFI (Norway's International Climate and Forests Initiative Data Program) de la compañía Planet Labs, mismos que son de alta resolución con un tamaño de píxel de 5 m.

3.4.1. Descarga de imágenes

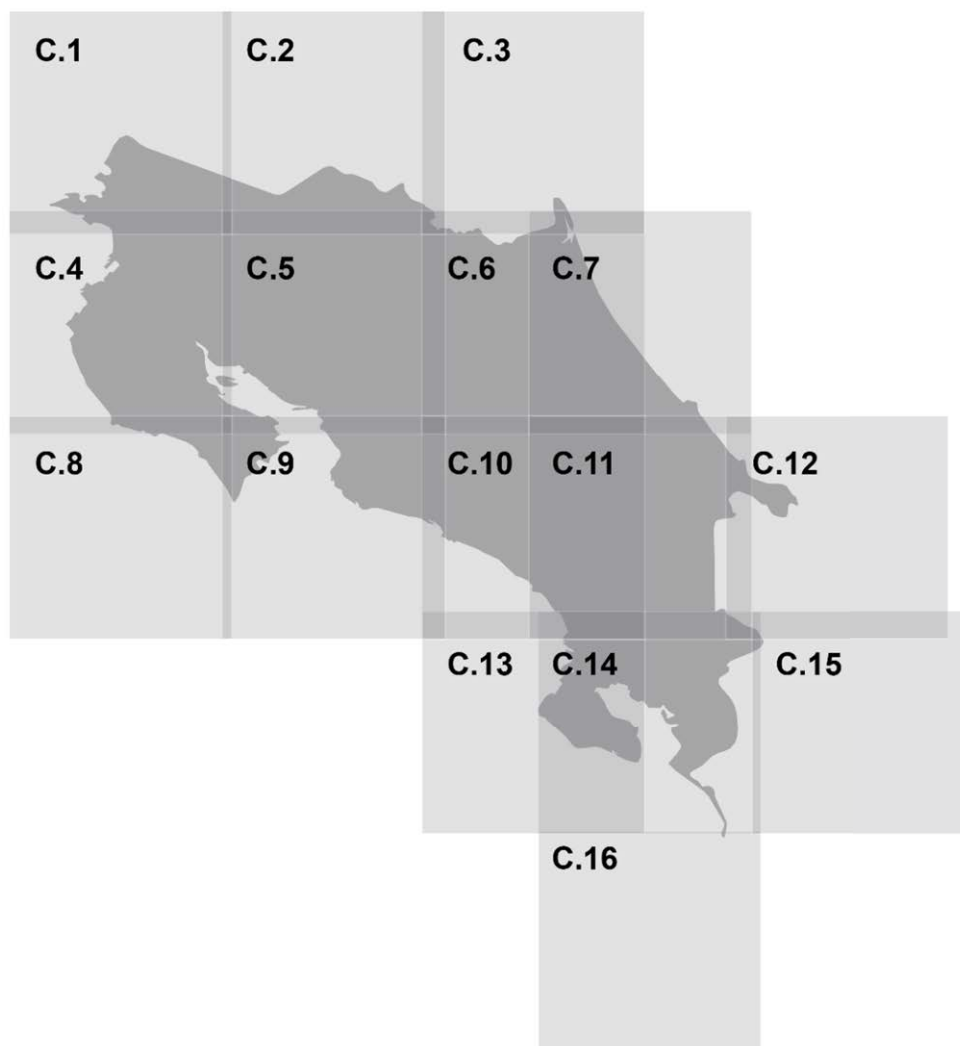
El primer paso para la adquisición y procesamiento de las imágenes fue la descarga de las escenas ubicadas dentro del territorio nacional. Dicha descarga se realizó desde la plataforma de la European Space Agency (ESA) para el programa Copérnico (<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>).

Para identificar las escenas a descargar y maximizar los procesos en la creación de mosaicos, se elaboró una nueva distribución de los cuadrantes que conforman el país, proceso aplicado para uso interno del proyecto (Figura 6). Basado en cada uno de los cuadrantes del área de Costa Rica, se realizó la búsqueda y descarga de las imágenes para el año 2019, las cuales fueron identificadas y seleccionadas con un porcentaje

²<https://repositorio.conare.ac.cr/handle/20.500.12337/8052>

máximo de un 35% de nubosidad, factor que favoreció el proceso de fotointerpretación, digitalización y codificación de la capa.

Figura 6. Distribución de los cuadrantes en Costa Rica para las imágenes del sensor Sentinel-2 del año 2019



Fuente: (Vargas, et al, 2020).

3.4.2. Procesamiento de imágenes

Posterior a la descarga de imágenes, se procedió a realizar el preprocesamiento de estas con el objetivo de elaborar un mosaico por Área de Conservación (AC) del SINAC; para esto, se seleccionaron las mejores escenas por cuadrantes para cada una de las áreas de trabajo y se les aplicó una corrección atmosférica por medio de la herramienta Sen2Cor del programa SNAP. Este proceso fue automatizado a través de un script en lenguaje computacional Python creado específicamente para este fin por el laboratorio PRIAS, lo cual facilitó la corrección de la totalidad de imágenes descargadas.

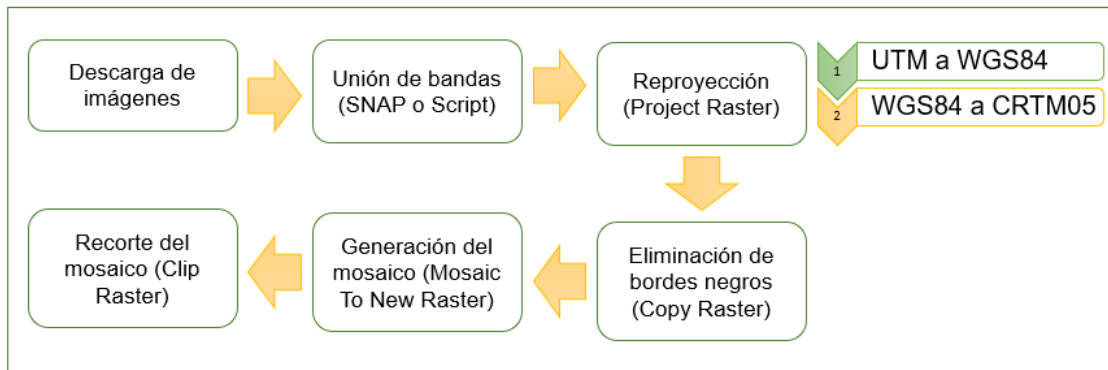
3.4.3. Mosaicos 2019

La creación de mosaicos tuvo como objetivo principal obtener una sola imagen para el área de estudio y con la menor cantidad de nubes; factor que facilitó la visualización y clasificación de los usos y coberturas de la tierra analizados por la herramienta MOCUPP dentro del territorio nacional. Como parte del proceso de innovación incorporado por el Laboratorio PRIAS, se optó por desarrollar dos mosaicos por área de conservación, uno con el proceso tradicional y otro con un proceso automatizado en la plataforma de Google Earth Engine (GEE), esto con el propósito de obtener la mayor cantidad de insumos con el menor porcentaje de nubosidad posible, que facilitaron el monitoreo de los paisajes analizados. Es importante aclarar que ambos mosaicos difieren en su temporalidad, ya que el mosaico tradicional se elabora con imágenes de los meses de menor nubosidad mientras que el mosaico de GEE tiene una temporalidad anual y está conformado por el mejor pixel disponible para dicho año en cada punto de la imagen. Por otro lado, también es importante mencionar que en las áreas de conservación ACTo, ACT y ACLAP se pueden presentar desplazamientos en diversas direcciones de entre 0,5 m a 4,5m; los cuales fueron tomados en cuenta al momento de fotointerpretar el polígono analizado.

3.4.3.1. Creación de los mosaicos por proceso tradicional

En la Figura 7, se muestra el flujograma del proceso tradicional para la creación de mosaicos para el año 2019.

Figura 7. Resumen metodología general para la generación de mosaicos.



Basado en la corrección atmosférica aplicada a las mejores escenas por cuadrante disponibles del 01 de enero de 2019 al 31 de diciembre de 2019, según la distribución mostrada en la figura 6, se utilizó, únicamente para este proceso una división por áreas de conservación para la creación del mosaico para cada una de estas, división que permitió estandarizar los insumos base utilizados en la etapa de procesamiento con respecto a los generados y aplicados en el monitoreo del año 2018. Para ello, primeramente, en el software SNAP, a través de la herramienta “Band select” se ejecutó la unión de bandas espectrales, utilizando específicamente las bandas B2 (azul), B3 (verde), B4 (rojo) y B8 (NIR) del espectro electromagnético.

Las imágenes descargadas y corregidas se encuentran en un sistema de proyecciones y coordenadas “UTM Zona 16, UTM Zona 17” dependiendo de la localización de las escenas dentro del país; no obstante, el MOCUPP genera y procesa sus productos en CRTM05. Razón por la cual se reproyectó el sistema de coordenadas, pasando primeramente de UTM a WGS84 y finalmente de WGS84 a CRTM05, en el software ArcGIS.

Luego, por medio de la herramienta “Copy raster” del software antes mencionado, se procedió a eliminar los bordes negros que correspondían a los píxeles con ausencia

de datos o “NoData”. Finalmente, se generaron los mosaicos con las imágenes procesadas para cada una de las áreas de conservación; para ello, se utilizó la herramienta “Mosaic To New Raster” del software ArcGIS.

El proceso detallado para el tratamiento de imágenes y creación de mosaicos, se puede consultar en el documento “Informe Final del Paisaje Productivo de Pastos para el año 2018 dentro del MOCUPP” (Aguilar, Calvo et al., 2021)³.

3.4.3.2. Creación de los mosaicos automatizados en la plataforma GEE

A partir de la utilización de la plataforma Google Earth Engine y las imágenes de la colección Sentinel-2 MSI nivel 2A, se elaboró un mosaico sin nubes para cada una de las 10 áreas de conservación del SINAC. Dicha colección fue filtrada por: fecha, utilizando los datos del 01 de enero de 2019 al 31 de diciembre de 2019; región, usando los límites del área de conservación que se encuentran en formato shape en el SNIT, específicamente en el nodo del SINAC (actualizada al año 2022); y por el porcentaje de nubes en cada escena (“cloudy pixel percentage”), considerando únicamente aquellas que presentaron un porcentaje menor a 30%.

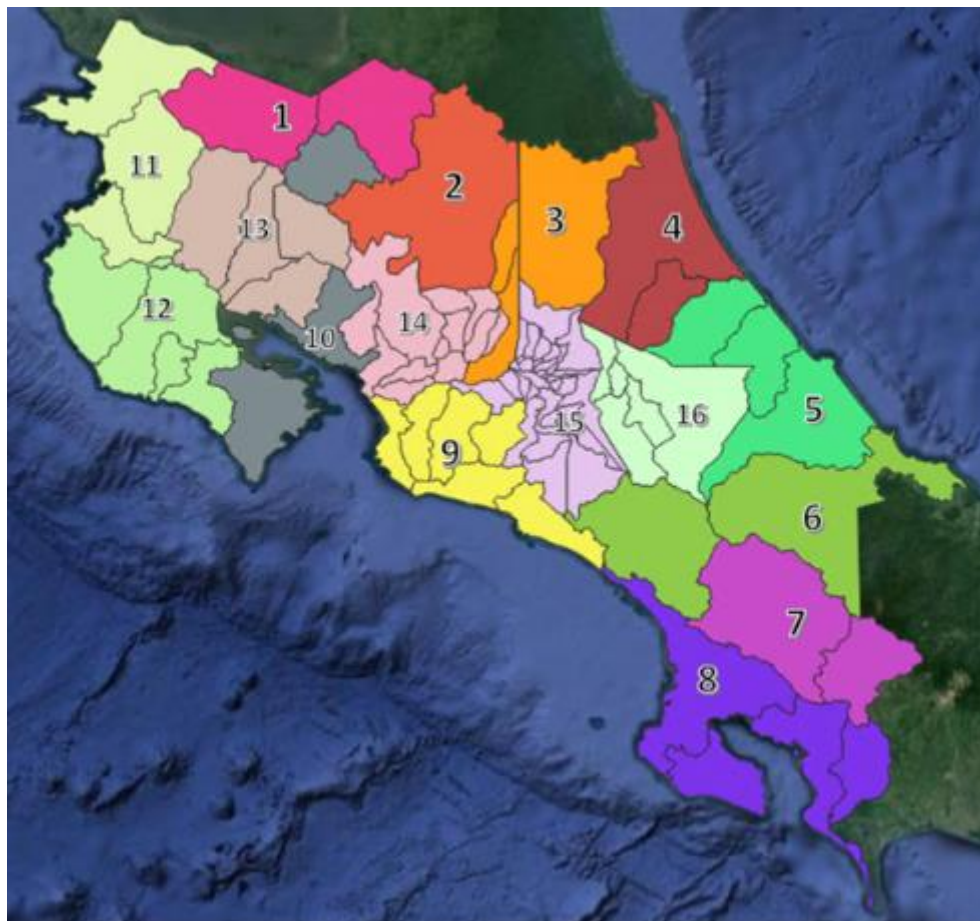
Posteriormente, a cada imagen seleccionada de la colección, se le aplicó una máscara de nubes por bits, considerando la banda QA60 presente en dichas imágenes, en donde el bit 10 corresponde a nubes opacas y el bit 11 corresponde a cirrus. Una vez filtrada y enmascarada la colección de imágenes, se generó el mosaico tomando el píxel correspondiente al valor mediano, mismo que fue descargado seleccionando únicamente cuatro bandas (B2, B3, B4 y B8) y cortado a la extensión de cada área de conservación.

3.5. Interpretación y actualización de áreas de cobertura arbórea

Según lo mencionado en la descripción del área de estudio, para el procesamiento de la capa vectorial del paisaje de cobertura arbórea del año 2019 se optó por dividir el país en 16 áreas de trabajo (Figura 8)

³<https://repositorio.conare.ac.cr/handle/20.500.12337/8256>

Figura 8. División de áreas de trabajo del proyecto MOCUPP en el territorio nacional.

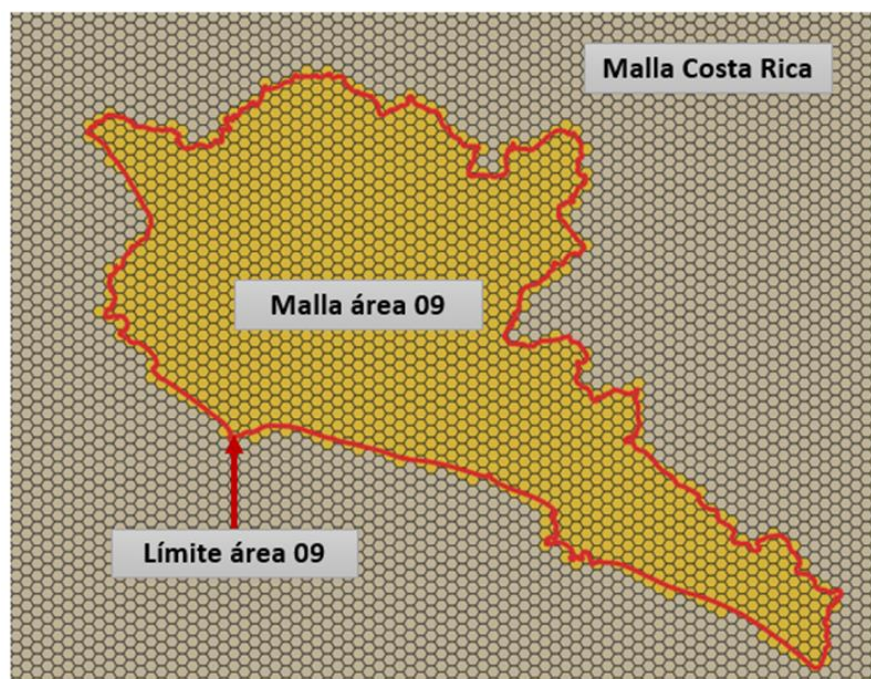


Como parte de las mejoras aplicadas en el desarrollo de los productos finales de cobertura arbórea para el año 2019, se procedió a revisar la existencia de traslapes con la capa vectorial del paisaje productivo de pastos del 2018; para esto se utilizó la herramienta de “Intersección” en el programa QGIS. La cual generó como resultado que la mayoría de intersecciones encontradas correspondieron a polígonos que no fueron digitalizados o editados durante el proceso de clasificación del año 2018.

La capa de intersecciones obtenida se utilizó como guía para ubicar dichos traslapes, los cuales fueron solventados durante la actualización del monitoreo de la capa 2019. A partir de esto se decidió trabajar, durante todo el proceso, de la mano con la creación de la capa de pastos, esto con el objetivo de evitar nuevas intersecciones.

Otra de las actividades incorporadas en la revisión y actualización de la capa del paisaje de cobertura arbórea 2019, fue el diseño de una malla de hexágonos por área de trabajo (Figura 9), que facilitó la ejecución del proceso, permitiendo realizarlo de manera más detallada y ordenada. La malla para todo el país contó con 29.075 hexágonos con un área aproximada de 194,85 hectáreas cada uno.

Figura 9. Ejemplo de malla elaborada para el área 9.



Fuente: (Jiménez, et al., 2022)

Adicionalmente, los insumos complementarios utilizados para la actualización de la capa 2019 fueron: el buffer de 2 kilómetros de cobertura arbórea del año 2018, los puntos tomados en campo seleccionados para la clasificación 2019, los puntos virtuales seleccionados para la clasificación 2019, imágenes satelitales de Planet y Google Earth Pro, las capas del Instituto Geográfico Nacional (pasto, cultivos y cobertura forestal), la capa del Inventario Nacional Forestal (año 2013-2014), la capa del Inventario Nacional de Humedales (años 2016-2018) y la capa de Pagos por Servicios Ambientales (año 2011-2018) del FONAFIFO.

Antes de comenzar con la revisión, edición y clasificación de las 16 áreas de trabajo que comprenden todo el territorio nacional, se tomó en cuenta la aplicación de los algoritmos multiparte a monoparte y corrección geométrica; los cuales generaron polígonos aislados con geometrías válidas. Además, para estandarizar las capas finales de los paisajes de pastos y cobertura arbórea, se elaboró un estilo unificado que contempló una lista de posibles comentarios requeridos para el análisis final de la actualización del año 2019.

De esta forma se llevó a cabo la creación del monitoreo del paisaje de cobertura arbórea para el año 2019, la cual se ejecutó por medio de los insumos previamente preparados, realizando una interpretación, clasificación y actualización de los polígonos que conformaron la capa de dicho paisaje al año 2018 mediante fotointerpretación de las imágenes. Además, para la incorporación de áreas nuevas de pastos para el año 2019 dentro del buffer de dos kilómetros definido por el paisaje de cobertura arbórea, se ejecutó una revisión minuciosa, cuyos resultados fueron digitalizados y reportados para la generación del nuevo buffer de CA para el año 2019.

Además, para la incorporación de áreas nuevas de Cobertura arbórea para el año 2019 se requirieron las capas actualizadas de palma aceitera, piña y pastos productivos de este mismo año; esto con el objetivo de expandir el buffer de CA hasta los dos kilómetros de las áreas nuevas encontradas por dichos paisajes productivos. Dentro de la expansión del buffer de CA para el año 2019, se revisaron detalladamente y se digitalizaron las áreas correspondientes a dicho paisaje analizado según la fotointerpretación realizada.

Finalizado el proceso de revisión e interpretación de la capa vectorial 2019, se verificó que no existieran polígonos sin una clase establecida o clasificados en las categorías “reclasificar o intersecciones”; así mismo, se corrigió la geometría para rectificar algunos errores dentro del proceso de edición y clasificación de las áreas.

Por otra parte, en el programa ArcGIS, se ejecutó la revisión topológica para cada una de las áreas de trabajo, dicha herramienta inspecciona los errores topológicos de

acuerdo con las reglas seleccionadas. Este geoproceso es requerido para evitar intersecciones, saltos o traslapos de los polígonos dentro de la capa procesada. Finalmente, al vector corregido y actualizado se le recalculó nuevamente el área (las cuales deben contar con seis decimales) y se envió al proceso de validación.

3.6. Validación de la clasificación

La validación de los archivos vectoriales elaborados se desarrolló en tres fases o etapas; donde, por medio de la ejecución de cada una de estas, se verificó que los resultados obtenidos cuenten con la confiabilidad estadística requerida por el proyecto; estas fases se detallan a continuación:

3.6.1. Validación 1

Para el proceso de validación 1, se decidió unificar las capas del PPP y CA del año 2019 con el objetivo de realizar una validación conjunta de los datos y con ello descartar la existencia de nuevos traslapos. Dado a esto, se conformó un único archivo vectorial para cada una de las 16 áreas de trabajo con la información de ambos paisajes y se efectuó un análisis completo de la matriz del paisaje para identificar las posibles relaciones entre la dinámica del PPP y CA. Esta unificación de capas fue utilizada exclusivamente en la Validación 1.

Esta etapa consistió en la verificación de las clases de cobertura arbórea, otros usos y pastos productivos, identificadas en el procesamiento de las capas del año 2019; para ello, se aplicó el 50% del total de los puntos recolectados, tanto en las campañas de campo como virtuales y que fueron asignados para la validación de estas capas, en los casos en los que dichos puntos no fueron suficientes, según el tamaño de la muestra calculado con la Fórmula 1, se procedió a ejecutar un muestreo aleatorio con la herramienta de QGIS que permite generar puntos aleatorios dentro de un área determinada, esto para lograr alcanzar el nivel de confianza buscado.

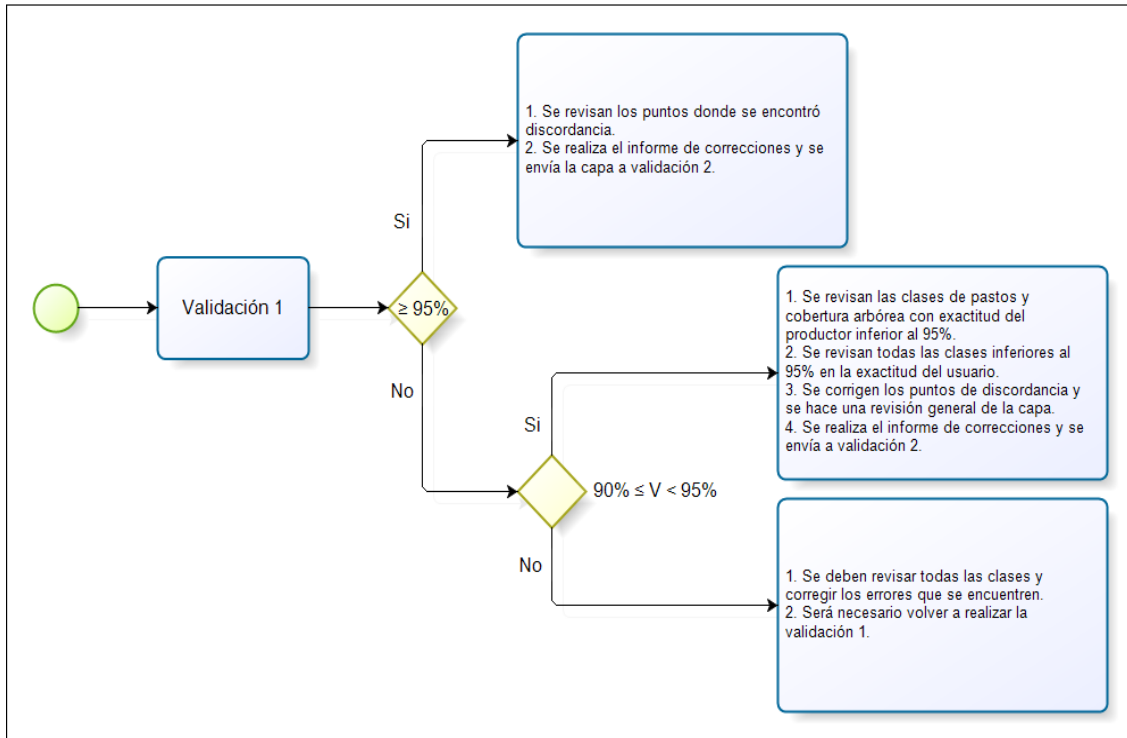
A partir de dichos insumos se procedió con la revisión de la capa vectorial, donde se comparó la clase asignada por el clasificador, con el dato facilitado por cada punto de

validación y el criterio del validador. Seguidamente, el validador aplicó matrices de confusión para obtener los porcentajes de exactitud de la capa; a partir de los resultados obtenidos se procedió con las correcciones, tomando en cuenta las siguientes posibilidades (Figura 10):

- Datos inferiores a un 90% indicaron que la capa debe ser revisada en su totalidad.
- Valores que oscilaban entre 90-95% indicaron que las clases que se encontraban dentro de dicho rango deben ser revisadas.
- Porcentajes que sobrepasaron el 95% indicaron que solo se debe revisar los puntos obtenidos como incorrectos.

Las correcciones propuestas por la validación 1 se realizaron en la capa unificada, esto con el objetivo de que los cambios o ediciones realizadas no generaran nuevos traslapes o intersecciones entre ambos paisajes. Luego de este proceso, se procedió a separar las capas y enviar los resultados a la etapa siguiente.

Figura 10. *Flujograma para el proceso de validación 1 para la capa del paisaje de cobertura arbórea.*



Fuente: (Aguilar, Calvo et al., 2021).

3.6.2. Validación 2

Esta etapa requirió calcular nuevamente el tamaño de la muestra a partir de la Fórmula 1, lo que permitió conocer la cantidad total de puntos utilizados para la validación 2; los cuales se generaron posteriormente y de forma aleatoria a través de la herramienta “Puntos aleatorios en los límites de la capa”.

Luego del proceso anterior, se inició la verificación de las clases de cobertura arbórea y no cobertura arbórea; se analizó cada uno de los puntos generados y se comparó la clase asignada por el clasificador con el criterio del validador. Al igual que en la Validación 1, para cada una de las áreas de trabajo se elaboró una matriz de confusión

para obtener el porcentaje de exactitud y con esto, se aplicó la corrección pertinente según los límites porcentuales que se muestran en la Figura 10.

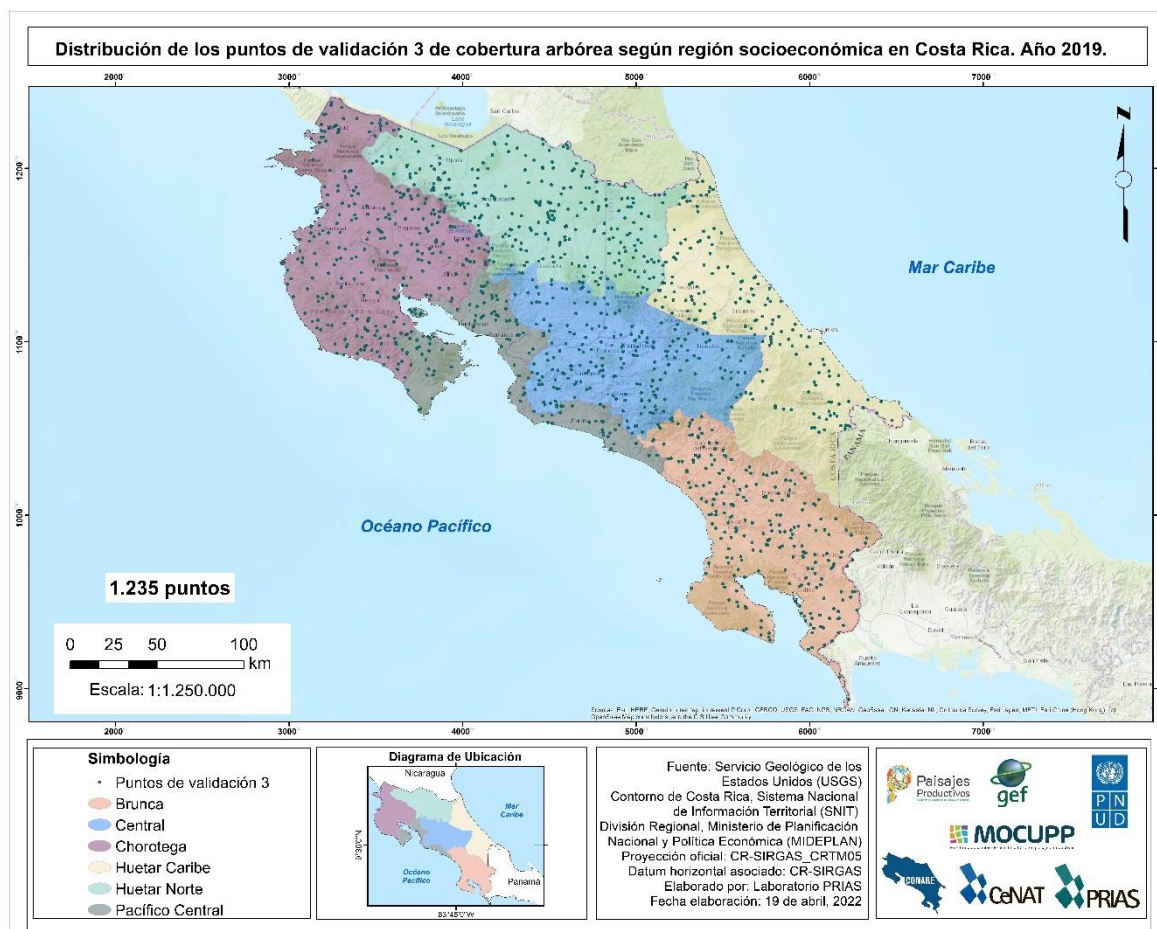
3.6.3. Validación 3

Luego de finalizado el proceso de Validación 2 y la incorporación de las debidas correcciones de los puntos en discordancia; se procedió a unir las 16 áreas de trabajo para tener una única capa vectorial del paisaje para todo el país.

Posteriormente, a la capa unificada se le realizó una diferencia entre el área total del buffer actualizado de 2 kilómetros y la capa final del paisaje de CA, con el objetivo de obtener los datos finales en hectáreas de la capa vectorial procesada para el año 2019 y el resto del país; a partir de estos datos se aplicó la Fórmula 1 y se procedió con el cálculo de la muestra de los puntos necesarios para la validación 3.

Como se observa en la Figura 11, los 768 puntos para la validación 3 se generaron de forma aleatoria según la muestra calculada, esto con la herramienta de QGIS “Puntos aleatorios en los límites de la capa”. Para cada uno se generaron dos columnas en la tabla de atributos nombradas “Clasificado” y “Comentario”; donde se categorizaron todos los puntos en las clases “cobertura arbórea” o “no cobertura arbórea”.

Figura 11. Distribución de los puntos de validación 3 del paisaje de cobertura arbórea según las regiones de MIDEPLAN.



Finalizado el proceso de categorización de los puntos, se procedió a unificar las tablas de atributos elaboradas a partir de los puntos aleatorios analizados; este procedimiento se realizó con la herramienta “unir atributos por localización” de QGIS. Seguidamente, se procedió a adjuntar esta clasificación a la capa país del paisaje correspondiente; lo cual permitió continuar con la fase de validación 3 donde se comparó el uso asignado a la capa total del paisaje, con los puntos categorizados para su validación. Los resultados obtenidos fueron analizados y ubicados dentro de los siguientes casos.

Caso 1: Tres clases asignadas a un punto coincidieron entre sí y con la capa de clasificación.

Caso 2: Tres clases asignadas a un punto coincidieron entre sí, pero difirieron con la capa de clasificación.

Caso 3: Dos clases asignadas a un punto coincidieron entre sí y con la capa de clasificación.

Caso 4: Dos clases asignadas a un punto coincidieron entre sí, pero difirieron con la capa de clasificación.

Los puntos que se ubicaron en los casos 3 y 4 fueron revisados uno por uno por la persona validadora, tanto con los mismos insumos utilizados para su categorización como con los diferentes mosaicos empleados en el procesamiento de la capa, además, se compararon con el archivo vectorial clasificado al año 2019 y se asignaron en los casos 1 y 2 según correspondieron. Luego de ubicar todos los puntos dentro de las dos primeras categorías, se procedió a crear una matriz de confusión y calcular los estadísticos Kappa para el archivo vectorial país del paisaje analizado.

Al concluir los cálculos estadísticos, si la exactitud global fue igual o mayor a 90%, la capa fue aprobada y se corrigieron únicamente los puntos en donde no existió concordancia según la matriz de confusión. Si la exactitud fue menor a 90%, pero mayor o igual a 80%, se revisaron todas las clases analizadas.

Para mayor detalle de los procesos aplicados en la Validación 1, 2 y 3, consultar el documento “Guía para validar las capas de pastos y cobertura arbórea” (Aguilar, Ávila et al., 2021)⁴

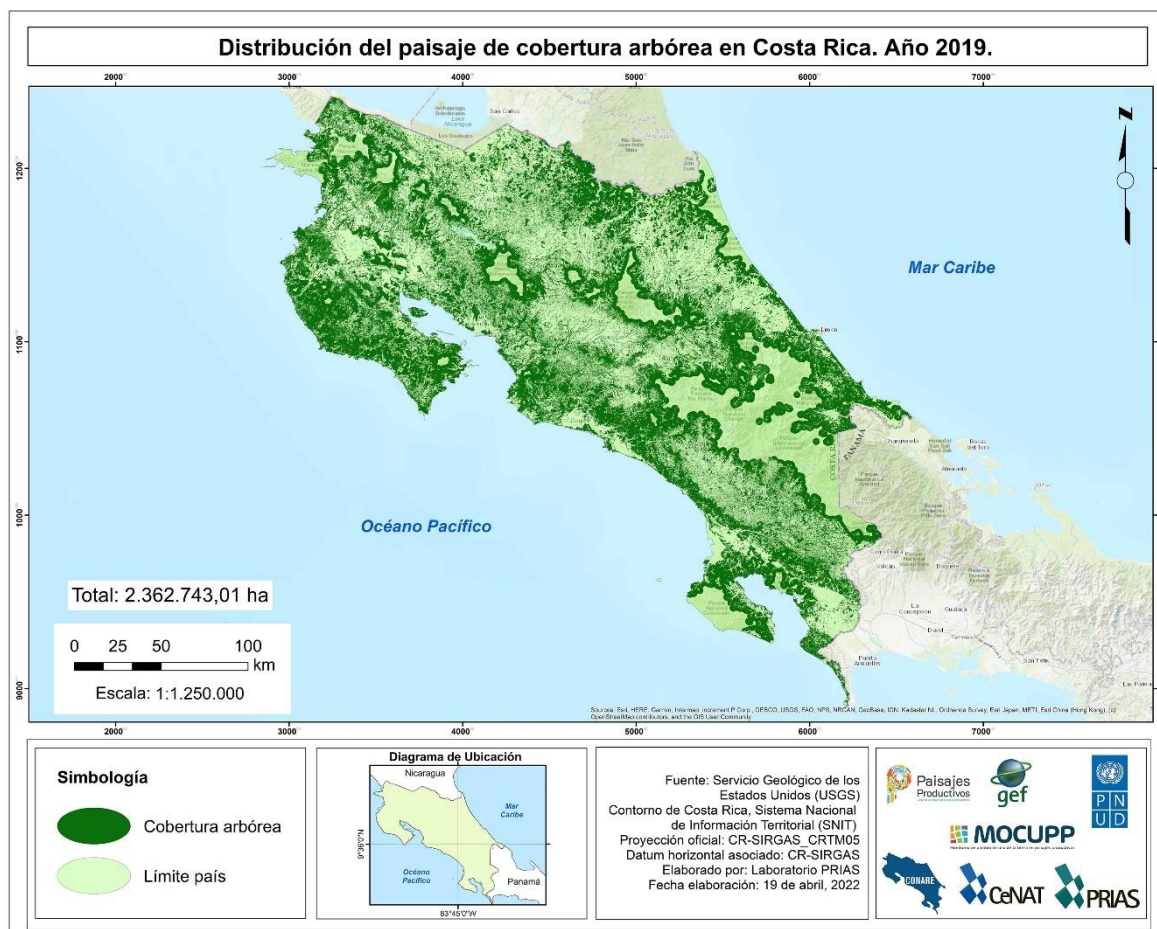
⁴<https://repositorio.conare.ac.cr/handle/20.500.12337/8349>

IV. RESULTADOS GENERALES

4.1. Distribución y análisis del paisaje de cobertura arbórea presente en un radio de 2km alrededor de los paisajes productivos de MOCUPP para el año 2019

A partir del estudio realizado, se determinó que el área de influencia de los 2 km de los cultivos de MOCUPP, (pastos productivos, piña y palma) para los años 2018 y 2019 en conjunto, equivale a 4.450.153,702 ha, específicamente 43.516,54 ha más que el área de estudio realizado para el año 2018. El área de estudio del 2019 representa un 86,87% del área de total del país, de esta área de estudio 2.362.743,01 ha corresponden a lo definido como cobertura arbórea en MOCUPP (Figura 12).

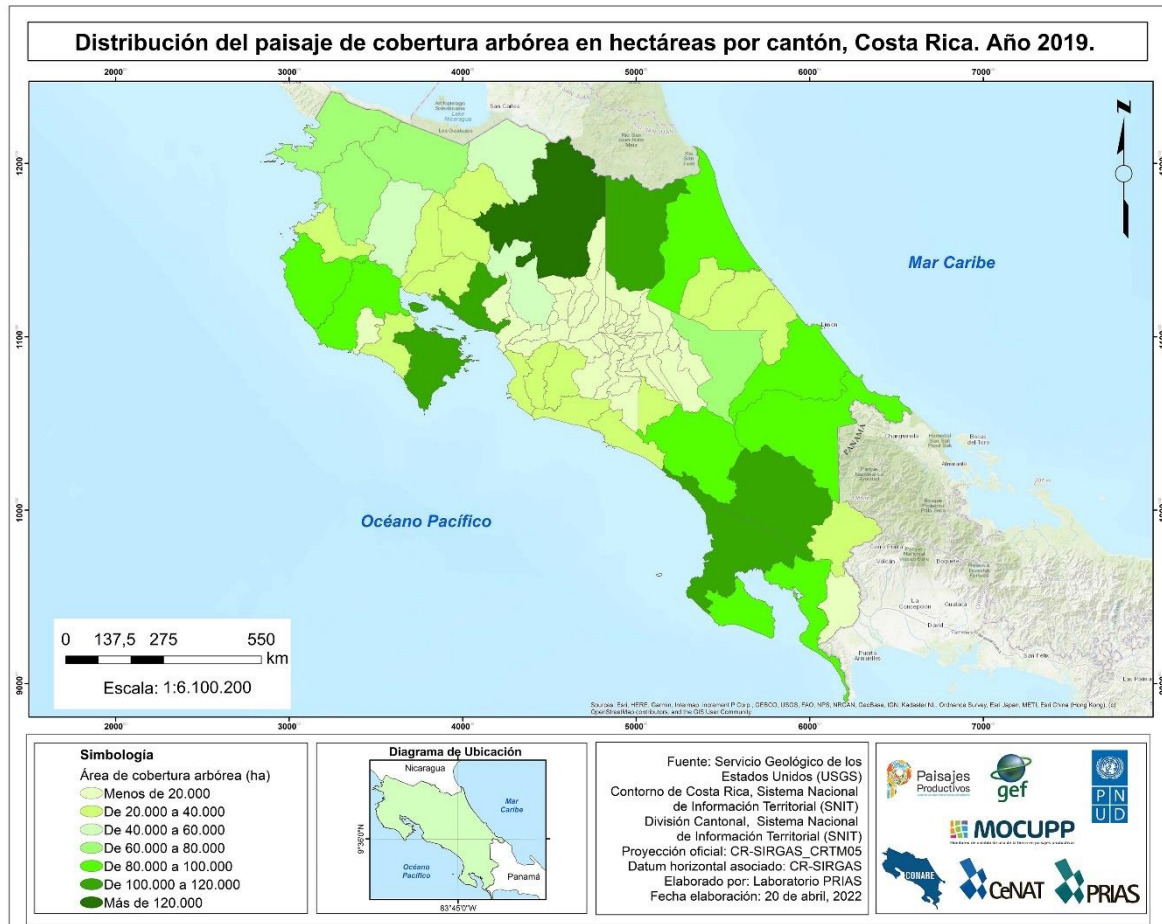
Figura 12. Distribución del paisaje de cobertura arbórea en Costa Rica. Año 2019.



4.2. Análisis de la cobertura arbórea por cantón.

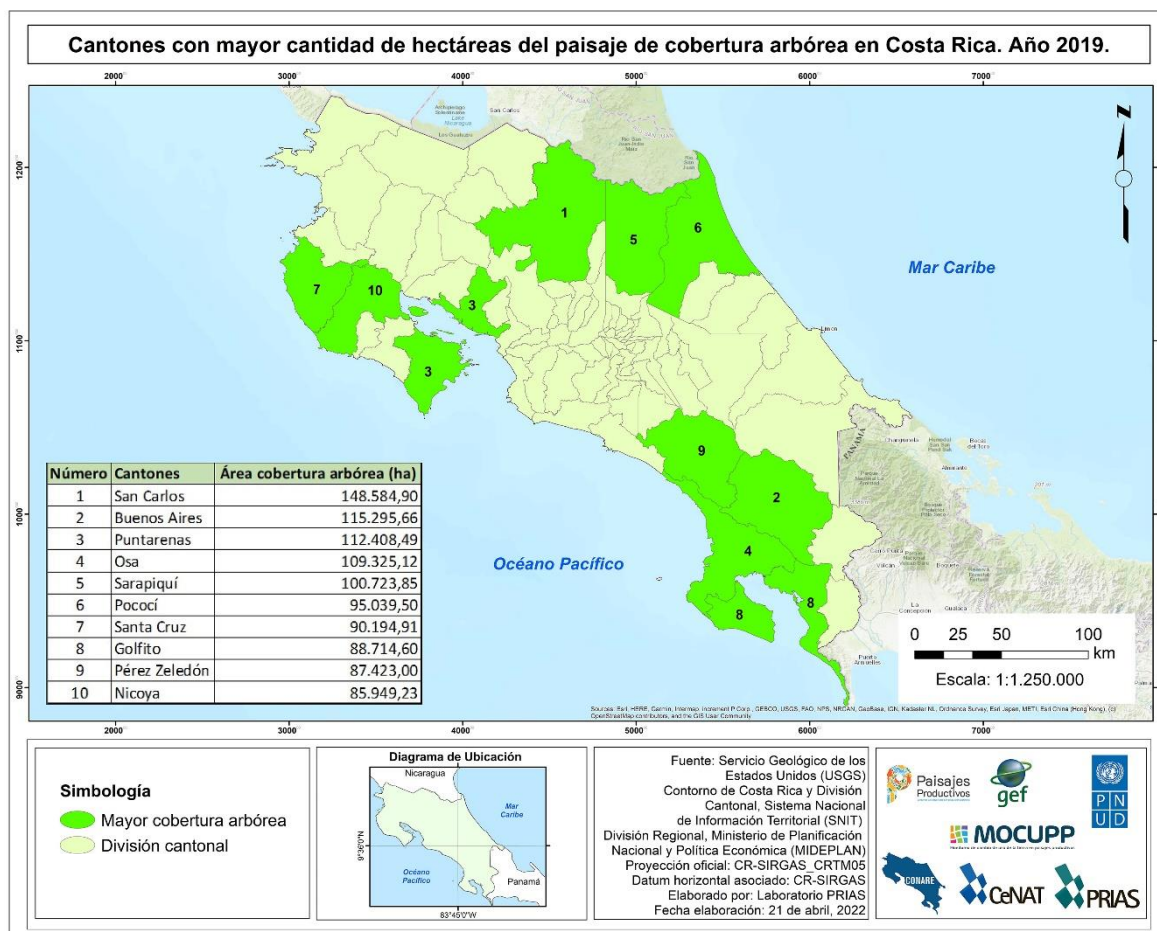
Mediante este estudio se determinó que existe cobertura arbórea (CA) en los 82 cantones en los que se encuentra dividido el país, según la división territorial administrativa de la ley número 4366 (Figura 13).

Figura 13. Distribución del paisaje de cobertura arbórea en hectáreas por cantón, Costa Rica. Año 2019.



El cantón con mayor cantidad de hectáreas de CA dentro del área de estudio es San Carlos el cual posee 148.584,90 ha (Figura 14), esta es una zona que presenta gran cantidad de especies maderables, además de una extensión importante de parches que funcionan como cercas vivas, así como plantaciones forestales (Arraya, 2011 como se citó en (Alvarado, et al., 2015). Seguido se encuentra el cantón de Buenos Aires con 115.295,66 ha (Figura 14), el cual se ha identificado como un área llena de recursos naturales ya que cuenta con zonas protegidas y corredores biológicos que benefician esta riqueza (Municipalidad de Buenos Aires, 2012).

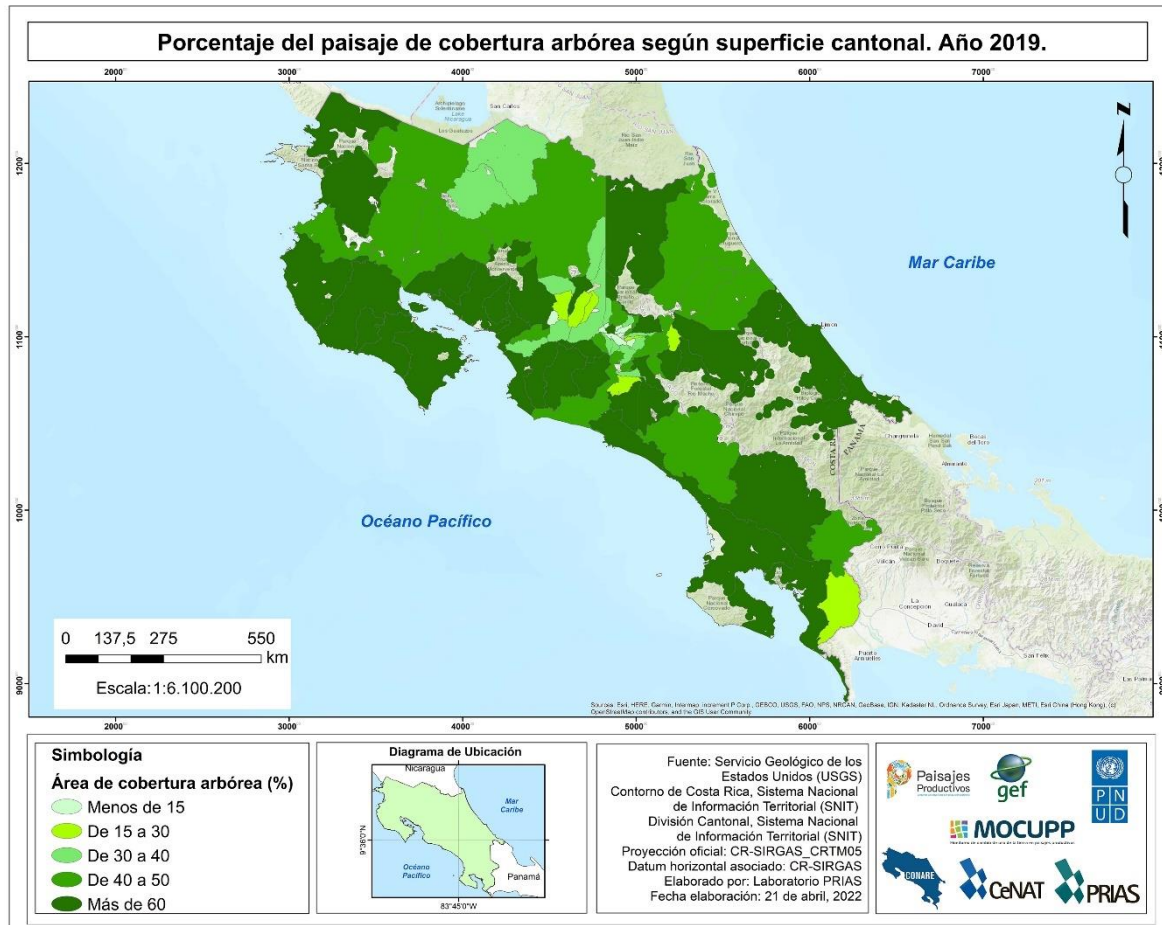
Figura 14. Cantones con mayor cantidad de hectáreas del paisaje de cobertura arbórea en Costa Rica. Año 2019.



Por otra parte, el cantón de Puntarenas ocupa el tercer lugar con 112.408,49 ha (Figura 14), para el año 2019 se incluye el territorio insular comprendido por Isla Venado e Isla Chira, ya que en estas se detecta la presencia del paisaje productivo de pastos. En cuarto lugar, está el cantón de Osa (109.325,12 ha), y seguido por Sarapiquí (100.723,85 ha). Los 5 cantones mencionados anteriormente representan casi una cuarta parte del total de la CA estudiada (24,82%). En cuanto a los cantones con menor cantidad de ha de CA, estos están comprendidos por el cantón de Flores con 31,15 ha, seguido de Tibás con 70,92 ha, San Pablo (101,35 ha), Belén (120,34 ha) y Curridabat (237,21 ha), todos estos pertenecientes a la Gran Área Metropolitana

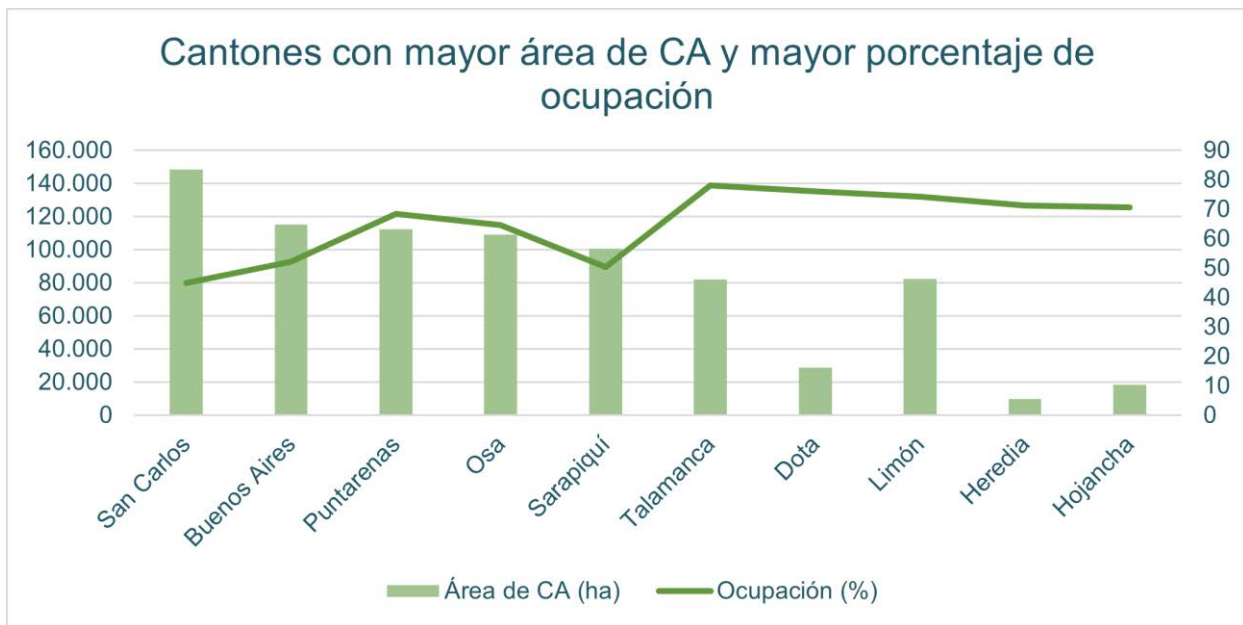
por lo que son cantones muy urbanizados (Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica [MIDEPLAN], 2014a).

Figura 15. Porcentaje de ocupación del paisaje de cobertura arbórea según superficie cantonal. Año 2019.



Realizando una comparación de la cantidad de hectáreas de un cantón y la proporción de ocupación de CA dentro de cada cantón (Figura 16), se obtiene que San Carlos posee la mayor cantidad de hectáreas de CA más no presenta el mayor porcentaje de ocupación con un 44,95% de su territorio ocupado por CA. En el caso de Buenos Aires segundo cantón con más CA (115.295,66 ha) posee un poco más de la mitad de su territorio bajo esta cobertura con un 52,20% de ocupación, sin embargo, no representa el porcentaje más alto de ocupación; seguido por Puntarenas con un porcentaje mayor del 68,51% y 112.408,49 ha de CA. Por el contrario, los cantones con mayor porcentaje de ocupación no están dentro de los cantones con mayor cantidad de hectáreas de CA tal es el caso de Talamanca con un 78,10%, Dota con un 76,15%, Limón con un 74,33%, Heredia con 71,23% y Hojancha con un 70,73% (Figura 15).

Figura 16. Representación de los cantones con mayor cantidad de hectáreas de CA y de los cantones con mayor porcentaje de ocupación de CA para el año 2019.



V. RESULTADOS REGIONALES

En esta sección se analizan los resultados de CA obtenidos dentro del área de estudio (2 km a partir de los paisajes productivos de MOCUPP: piña, palma y pastos productivos), por cantón asociado a la región correspondiente de acuerdo con la división territorial del MIDEPLAN (Tabla 4).

La región Chorotega al igual que en el estudio de 2018 (Ávila, et al., 2021) es la que presenta la mayor cantidad de ha de CA para un total de 536.118,04 ha, además, es la tercera región con mayor proporción de CA en el área de estudio y es la segunda región con mayor proporción de CA en el área total de la región (Tabla 4). El que sea la región con mayor cantidad de CA podría deberse a que es una región compuesta por varias áreas de conservación tales como: Área de Conservación Guanacaste, Arenal-Tempisque, Tempisque, las cuales tienen como objetivo principal la conservación y el desarrollo de servicios ambientales (Sauma, 2011), además de ser una región con gran cantidad de plantaciones forestales, específicamente 24,3% del total reportado para el país por el CENAGRO 2014, (Meza, et al., 2019).

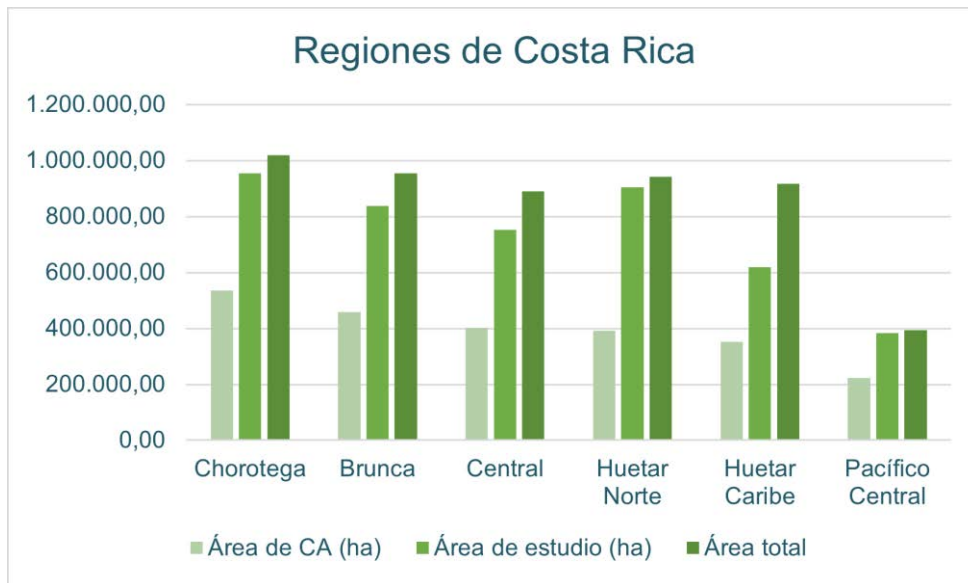
La región Brunca tiene el segundo lugar con 457.833,12 ha, en cuanto a la proporción de área de CA en el área de estudio y del área total ocupa el cuarto lugar con un 54,65% y 48,00% respectivamente (Tabla 4). Esta región se caracteriza por ser una zona de mucha riqueza en biodiversidad del país (Zumbado, 2014).

Tabla 4. Resultados obtenidos de Cobertura arbórea por región según la división territorial administrativa de MIDEPLAN para el año 2019.

Región	Superficie total de CA (ha)	Proporción de área de CA en el área de estudio	Proporción de área de CA en el área total de la región
Chorotega	536.118,04	56,18	52,58
Brunca	457.833,12	54,65	48,00
Central	401.790,88	53,44	45,16
Huetar Norte	390.817,92	43,22	41,45
Huetar Caribe	352.287,53	56,90	38,39
Pacífico Central	223.895,50	58,45	56,94
Total	2.362.743,01		

Por otro lado, el tercer lugar lo tiene la región Central con 401.790,88 ha, el cuarto lugar la región Huetar Norte con 390.817,92 ha, el quinto lugar Huetar Caribe 352.287,53 ha, por último, la región Pacífico Central, que posee menos de la mitad de ha de CA que la región Chorotega, con un total de 223.895,50 ha (Tabla 4). Cabe destacar que la región chorotega es la que tiene mayor proporción de CA dentro del área de estudio, así como en la proporción de área total de la región, lo cual se puede visualizar en la Figura 17, es importante destacar que ambos resultados reflejan una diferencia aproximada de 10 ha.

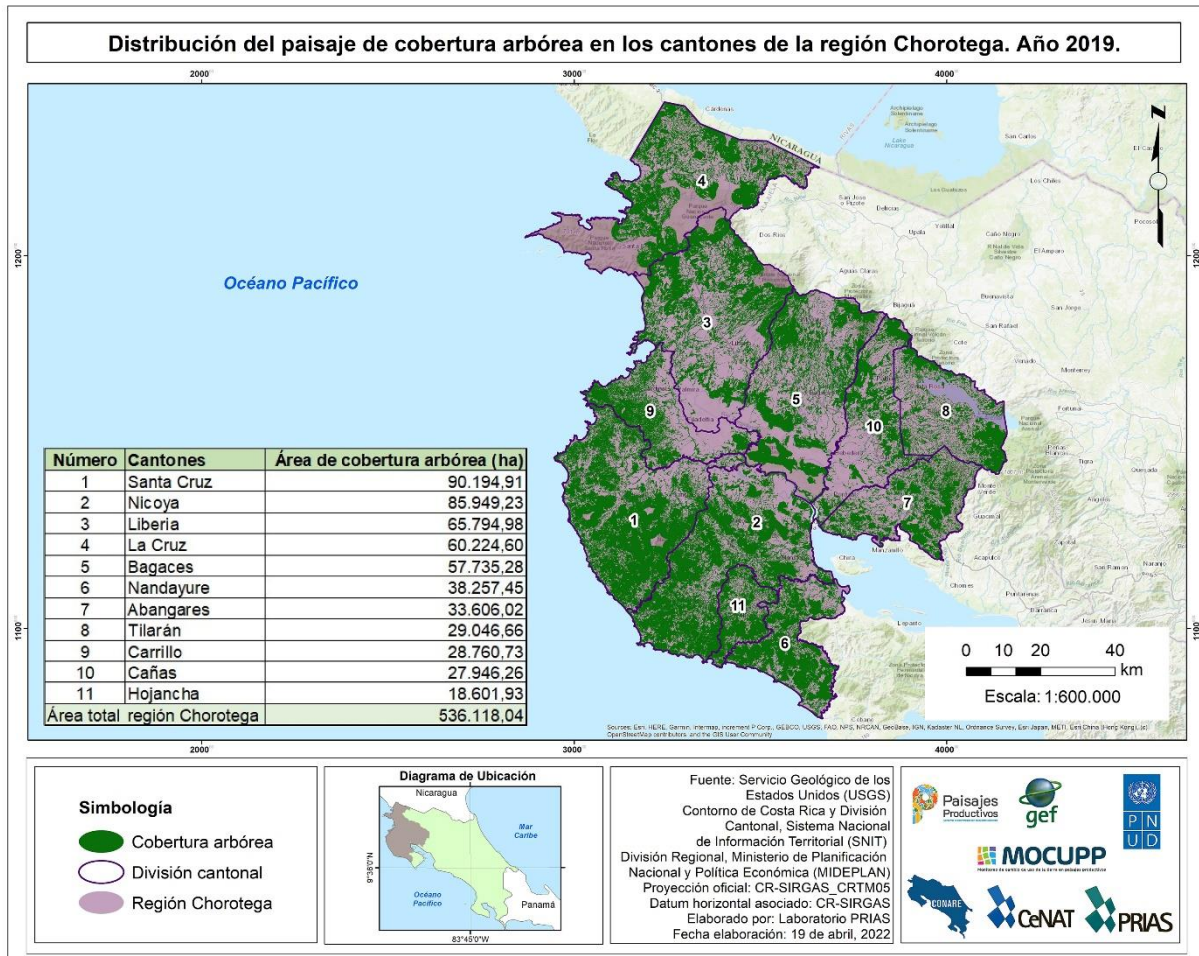
Figura 17. Área total, área de estudio y área de cobertura arbórea por región según la división territorial administrativa de MIDEPLAN para el año 2019.



5.1. Región Chorotega

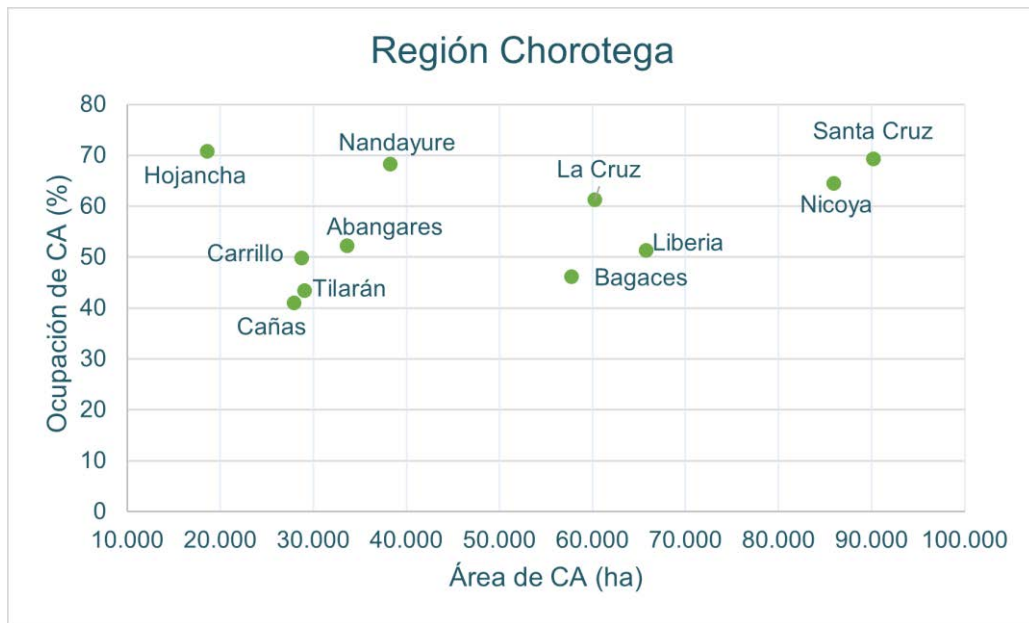
En la región Chorotega se encuentran 11 cantones, y como se mencionó anteriormente, es la región con mayor cantidad de hectáreas de CA, según este estudio. Al igual que en el 2018 (Ávila, et al., 2021) los tres cantones con mayor cantidad de hectáreas de CA en orden descendente son Santa Cruz con 90.194,91 ha, seguido de Nicoya (85.949,23 ha) y Liberia (65.794,98 ha) (Figura 18). Para el año 1998, el panorama era diferente ya que la cobertura boscosa de esta región estaba presente mayormente en los cantones de Bagaces, La Cruz, Cañas y Liberia, estos cantones presentaban el 22% del bosque total de la región (Sauma, 2011).

Figura 18. Distribución del paisaje de cobertura arbórea en los cantones de la región Chorotega. Año 2019.



El cantón con menor cantidad de hectáreas de la región es Hojancha con 18.601,93 ha, según Serrano et al. (2007) para esta zona en el año 2007 se determinó que existían 12.709 ha correspondiente a bosque, regeneración natural y plantaciones forestales, además se demostró que estas categorías mostraban una importante recuperación en los últimos años. Es importante destacar que este cantón presenta el mayor porcentaje de ocupación de CA con 70,73%, los autores anteriormente mencionados determinaron que el 74% de este cantón debía ser destinado a alguna forma de cobertura forestal (Figura 19).

Figura 19. Relación de los cantones de la Región Chorotega según el área (ha) de CA y el porcentaje de ocupación de CA dentro del área de estudio para el año 2019.

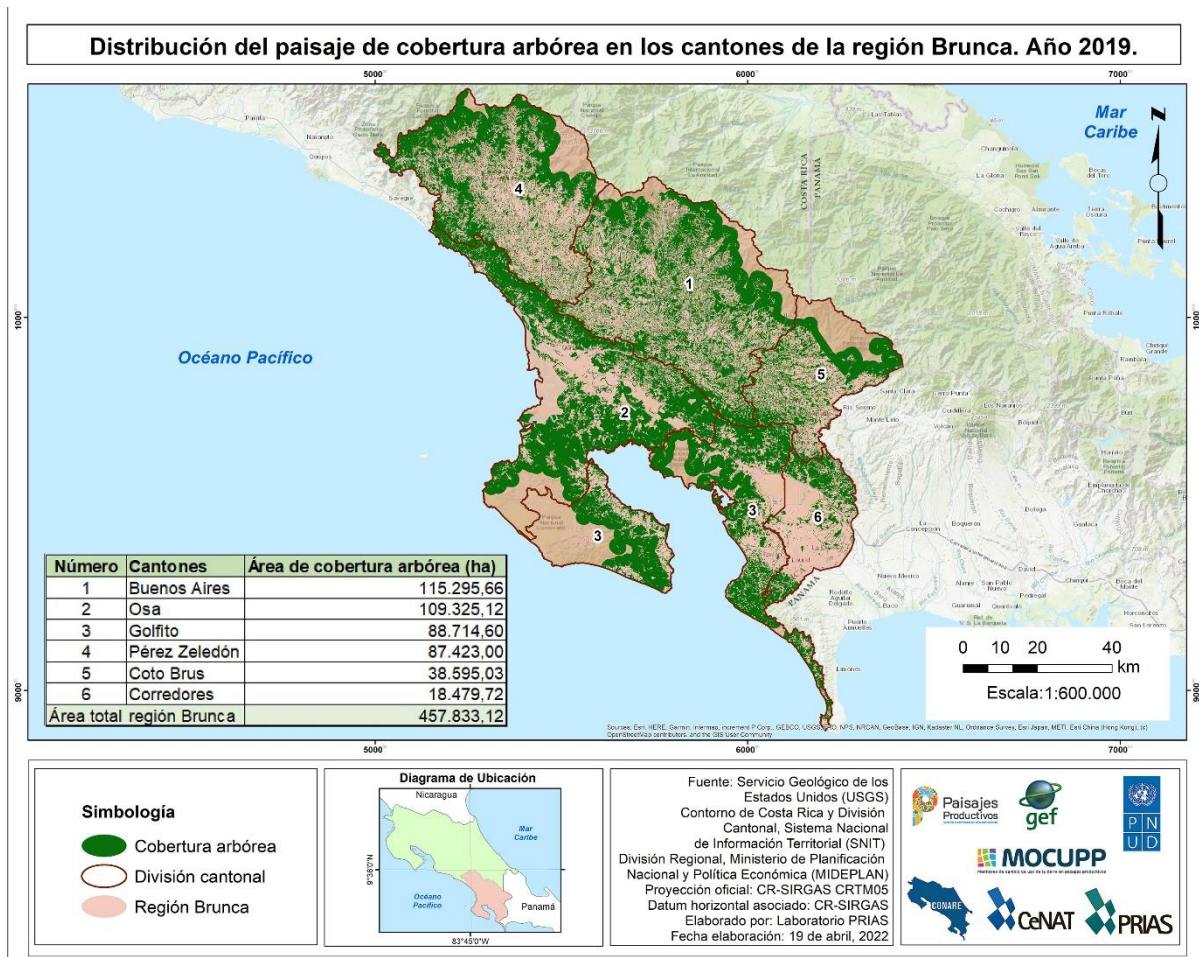


Fuente: Laboratorio PRIAS 2022.

5.2. Región Brunca

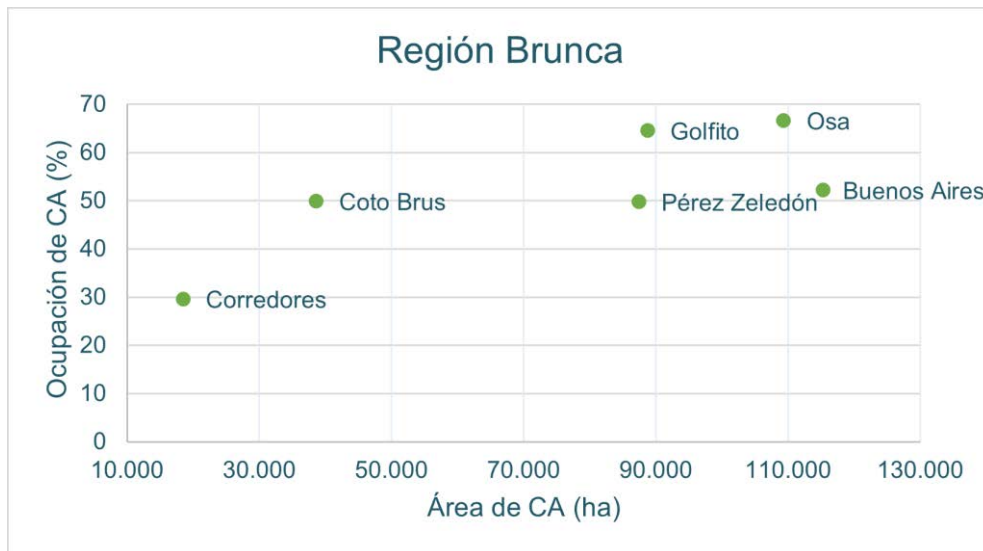
La RB tiene el segundo cantón con mayor cantidad de ha de CA dentro del área de estudio del país, el cual es Buenos Aires con 115.295,66 ha (Figura 20). Este cantón cuenta con varias zonas protegidas y corredores biológicos lo que beneficia su riqueza en recursos naturales (Municipalidad de Buenos Aires, 2012). Lo sigue el cantón de Osa con 109.325,12 ha, el cual es un cantón con gran valor histórico, arqueológico y de biodiversidad (Municipalidad de Osa, 2012). En tercer lugar, está el cantón de Golfito con 88.714,60 ha, en este cantón se encuentran importantes áreas silvestres protegidas tales como el Refugio de Vida Silvestre de Golfito y parte del Parque Nacional Corcovado y la Reserva Forestal de Golfo Dulce, además de territorios indígenas con las áreas boscosas privadas más extensas del cantón (Municipalidad de Golfito, 2012).

Figura 20. Distribución del paisaje de cobertura arbórea en los cantones de la región Brunca. Año 2019.



Por otra parte, Corredores es el cantón con menor cantidad de hectáreas de CA de esta región con 18.479,72 ha, así como el menor porcentaje de ocupación con un 29,63%. Osa es el cantón con el porcentaje de ocupación más alto 66,63%, este cantón en conjunto con Golfito y Corredores protegen un 8,6% del territorio nacional (Municipalidad de Osa, 2012) (Figura 21).

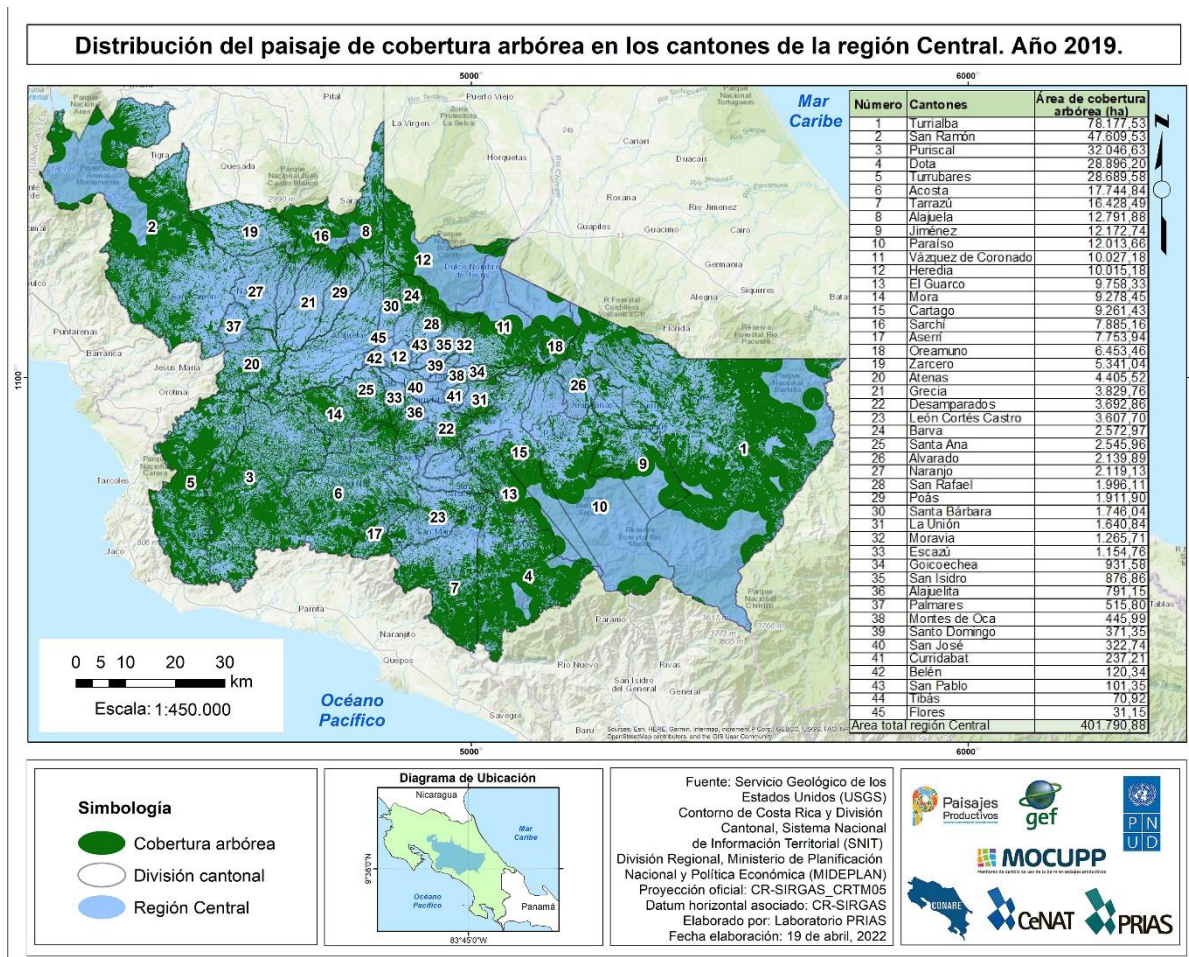
Figura 21. Relación de los cantones de la Región Brunca según el área (ha) de CA y el porcentaje de ocupación de CA dentro del área de estudio. Año 2019.



5.3. Región Central

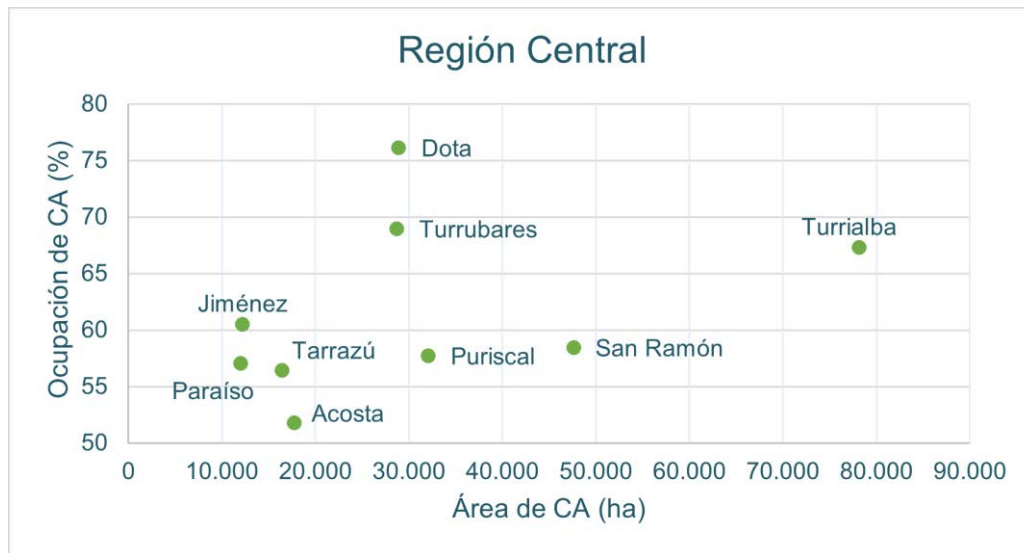
En la región Central se encuentran la mayor cantidad de cantones del país, 45 específicamente, Turrialba es el que presenta mayor cantidad de hectáreas de CA con 78.177,53, este cantón posee un atractivo natural, ya que la mayoría del suelo se encuentra destinado a la conservación (Municipalidad de Turrialba, 2016). Le sigue San Ramón (47.609,53 ha) y Puriscal (32.046,63 ha).

Figura 22. Distribución del paisaje de cobertura arbórea en los cantones de la región Central. Año 2019.



En cuanto al porcentaje de ocupación Dota tiene la mayor proporción con un 76,15% (Figura 23), este cantón se caracteriza por tener una gran protección boscosa lo que además contribuye a una riqueza hídrica para la zona Los Santos (Instituto Costarricense de Turismo [ICT], 2011). Seguido de Turrubares con un 68,98% y Turrialba con un 67,33%, los datos obtenidos concuerdan con lo reportado por la literatura (Municipalidad de Turrialba, 2016), donde se indica que el 73% del territorio de este cantón presenta cobertura boscosa.

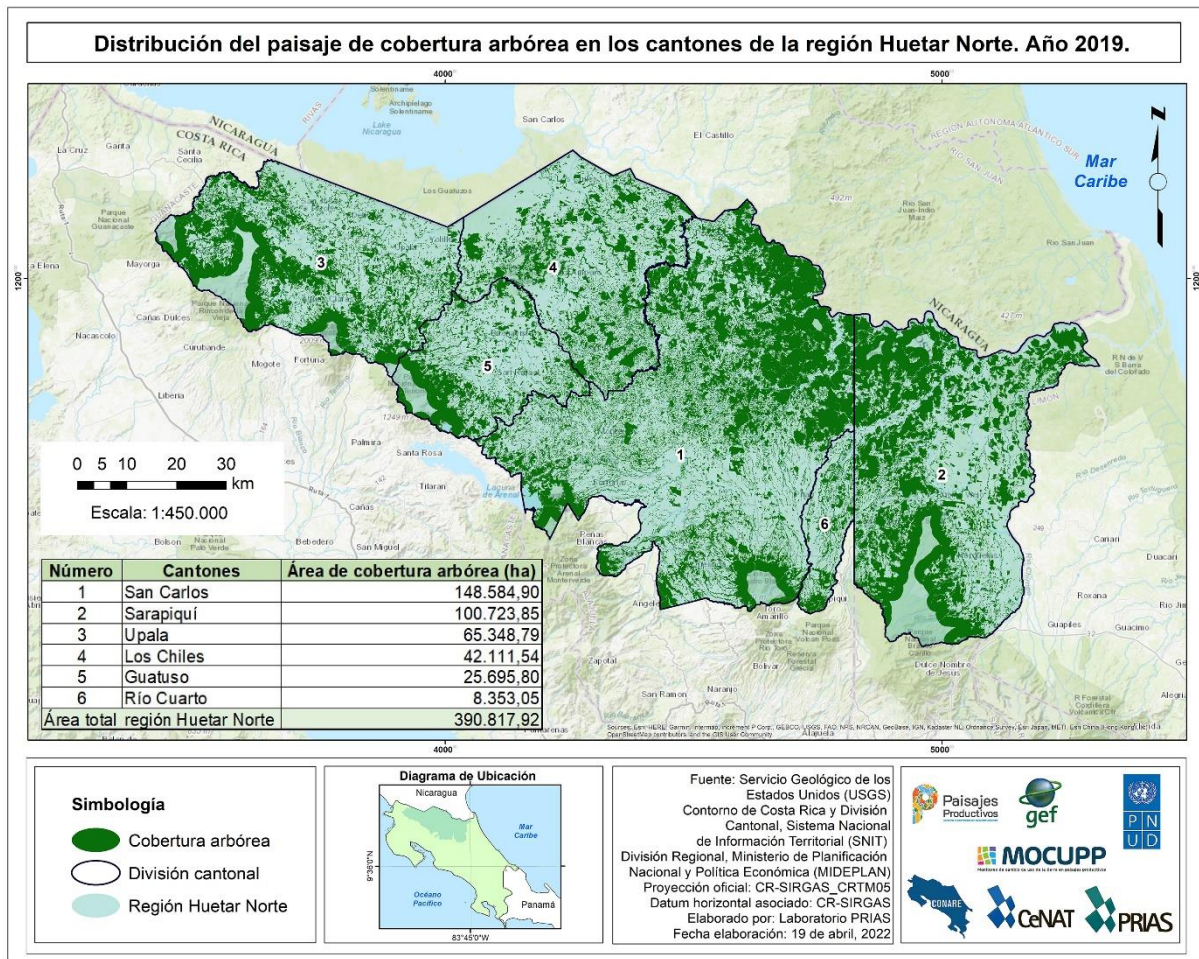
Figura 23. Relación de los cantones de la Región Central según el área (ha) de CA y el porcentaje de ocupación de CA dentro del área de estudio. Año 2019.



5.4. Región Huetar Norte

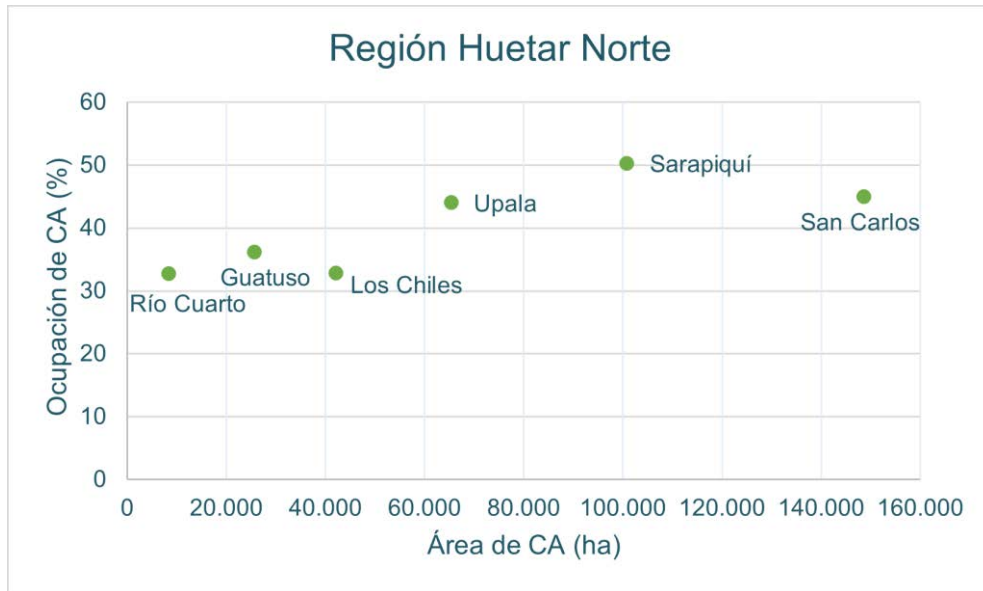
A esta región pertenece el cantón con mayor cantidad de CA de toda el área de estudio, el cual es San Carlos con 148.584,90 ha (Figura 24), este cantón es el más reforestado tanto en la región como a nivel nacional (Meza, et al., 2019). Le sigue Sarapiquí (100.723,85 ha), el cual se caracteriza por tener bosques y una biodiversidad abundante, aproximadamente un 3% de esta está presente en las zonas protegidas asociadas a este cantón (Instituto Costarricense de Turismo [ICT], 2020), además tiene el primer lugar en porcentaje de ocupación para esta región con un 50,32% (Figura 25).

Figura 24. Distribución del paisaje de cobertura arbórea en los cantones de la región Huetar Norte. Año 2019.



Por otra parte, en tercer lugar está Upala (65.348,79 ha), este cantón se caracteriza por su riqueza en torno a los humedales y volcanes específicamente a Rincón de la Vieja y Miravalles (Carbó, Guerrero y Salas, 2008). En el caso de Río Cuarto es el cantón con menor cantidad de CA con 8.353,05 ha y también presenta el menor porcentaje de ocupación de CA.

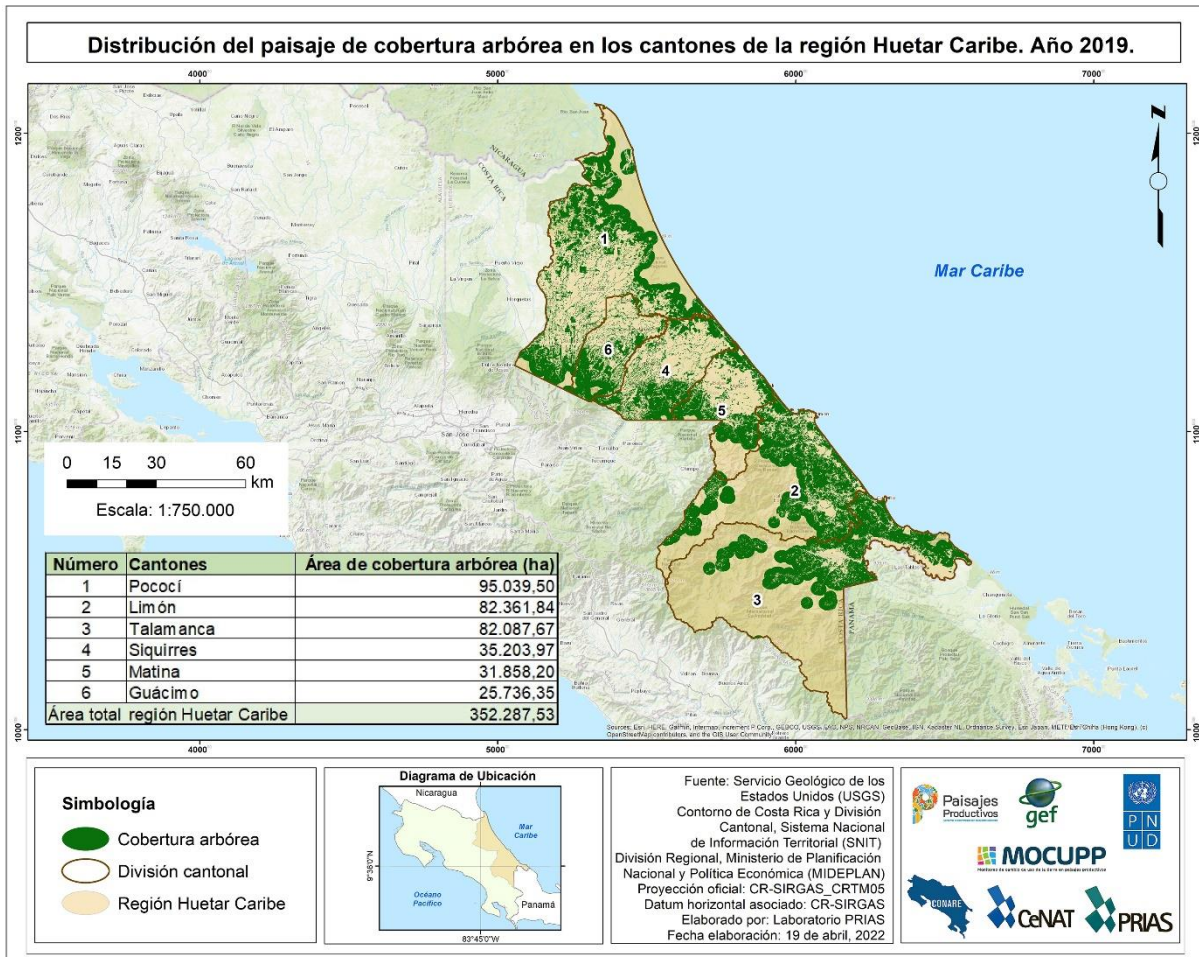
Figura 25. Relación de los cantones de la Región Huetaar norte según el área (ha) de CA y el porcentaje de ocupación de CA dentro del área de estudio. Año 2019.



5.5. Región Huetaar Caribe

En el caso del Caribe al igual que en lo reportado para el 2018 (Ávila, et al., 2021) Pococí es el cantón con mayor cantidad de hectáreas de CA con 95.039,50 ha dentro del área de estudio (Figura 26), en este cantón se concentra el 54,3% del área total reforestada en esta región (Meza, et al., 2019).Seguido de Limón (82.361,84 ha), este cantón agrupa el 22,6% del área reforestada para esta región (Meza, et al., 2019).

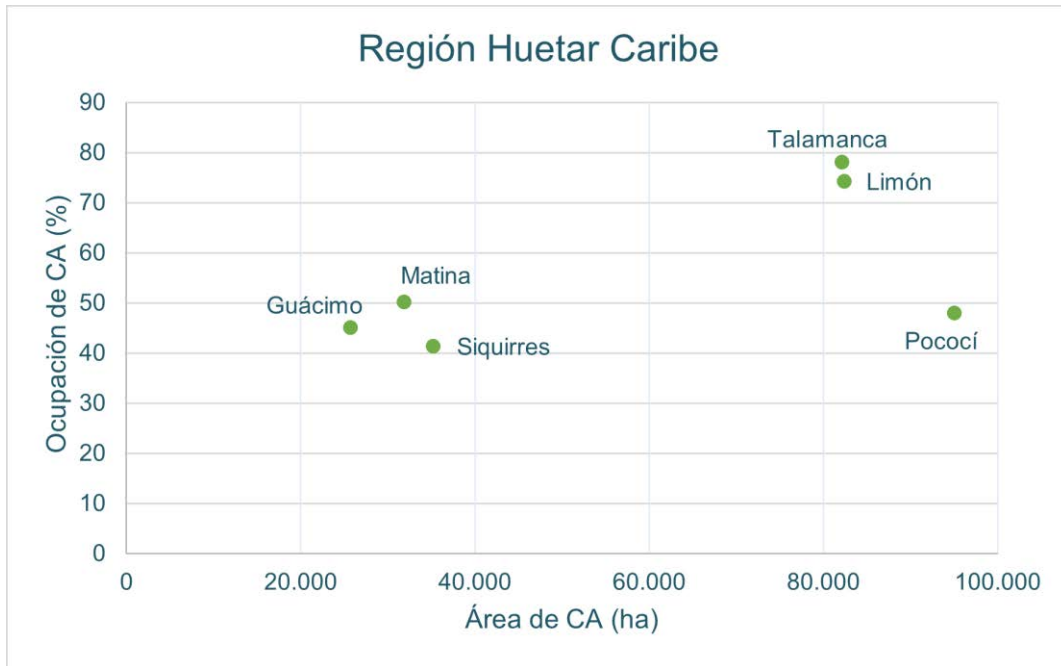
Figura 26. Distribución del paisaje de cobertura arbórea en los cantones de la región Huetar Caribe. Año 2019.



Talamanca (82.087,67 ha) por su parte ocupa el tercer lugar, además cabe destacar que este cantón es el que presenta mayor porcentaje de ocupación con un 78,10%, esto se debe a que es el menos poblado de la región, y además abarca varias zonas de protección y zonas indígenas donde se resguardan las zonas boscosas (Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica [MIDEPLAN], 2014f).

En el caso de Siquirres, Matina y Guácimo son los cantones con menor cantidad de CA y menor porcentaje de ocupación (Figura 27), esto concuerda con lo reportado por (Román y Morales, 2018), ya que son cantones con gran área de productos agropecuarios tales como banano, piña, palma y otras frutas.

Figura 27. Relación de los cantones de la región Huetar Caribe según el área (ha) de CA y el porcentaje de ocupación de CA dentro del área de estudio. Año 2019.

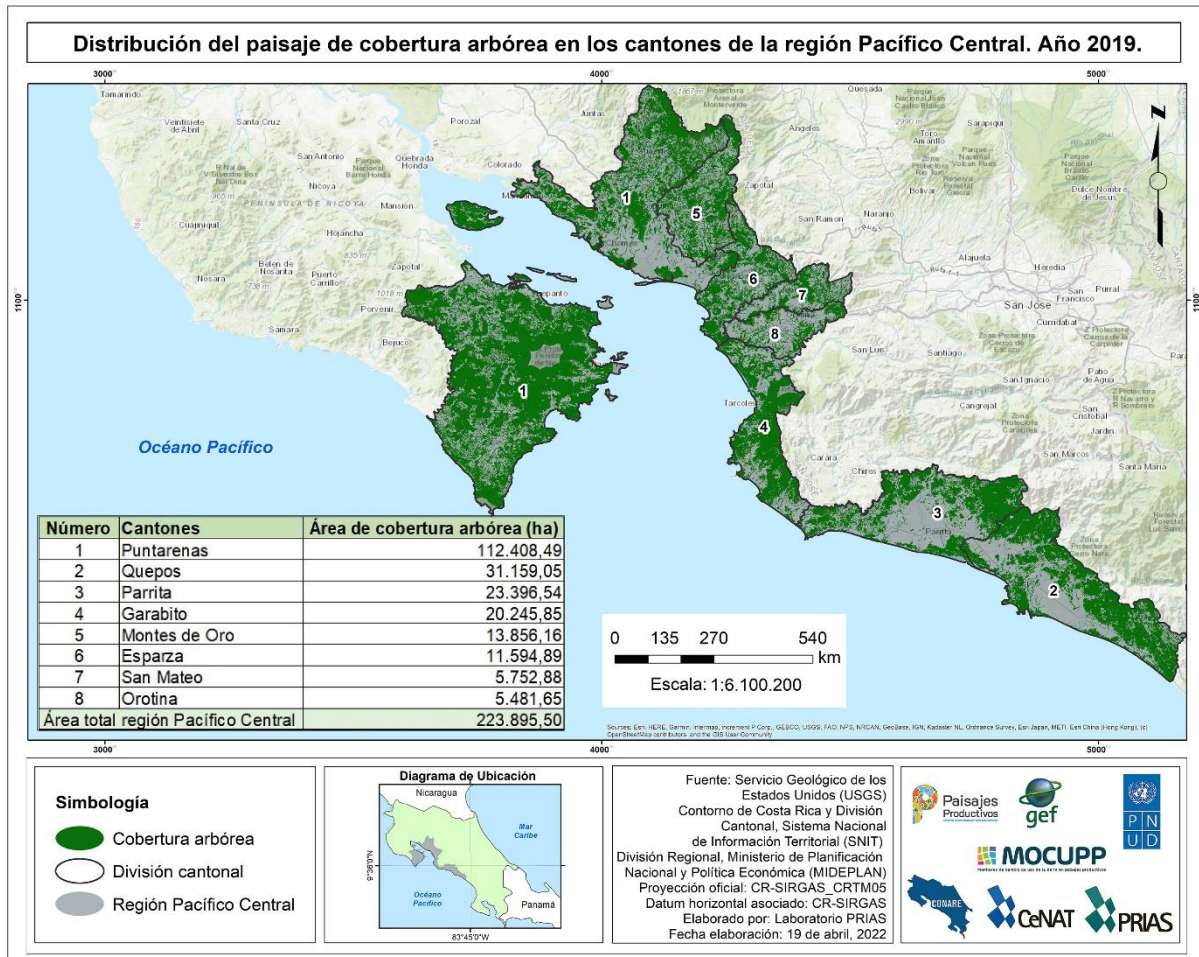


5.6. Región Pacífico Central

La Región Pacífico Central es la que presenta menor cantidad de ha de cobertura arbórea en el país, el cantón con mayor cantidad es Puntarenas con 112.408,49 ha (Figura 28), además cabe destacar que este representa el 47% de la CA de toda la región (Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica [MIDEPLAN], 2014e). Analizando los demás cantones de la región donde la presencia de CA es significativamente menor (Figura 28), se presentan en orden descendente:

- Quepos (31.159,05 ha)
- Parrita (23.396,54 ha)
- Garabito (20.245,85 ha)
- Montes de Oro (13.856,16 ha)
- Esparza (11.594,89 ha)
- San Mateo (5.752,88 ha)
- Orotina (5.481,65 ha)

Figura 28. Distribución del paisaje de cobertura arbórea en los cantones de la región Pacífico Central. Año 2019.



En cuanto a porcentaje de ocupación Garabito ocupa el primer lugar con 65,29%, seguido de Puntarenas (64,38%), al igual que en el estudio del 2018 (Ávila, et al., 2021). Le sigue Quepos (55,91%), Montes de oro (56,15%), Esparza (53,38%), Parrita (48,44%), San Mateo (46,01%) y Orotina (37,78%) (Figura 29).

Figura 29. Relación de los cantones de la región Pacífico Central según el área (ha) de CA y el porcentaje de ocupación de CA dentro del área de estudio. Año 2019.



5.7. Comparación del Área Total del Paisaje de Cobertura arbórea, para los años 2018-2019

A fin de conocer el comportamiento de la cobertura arbórea en el área de estudio del MOCUPP para los años 2018-2019, en la Tabla 5 se muestran los resultados divididos en las seis regiones analizadas. Al contrastar esta información se pueden visualizar variaciones en la cantidad de hectáreas de CA en todas las regiones.

Tabla 5. *Modificación del paisaje de cobertura arbórea en el año 2019 respecto a los datos calculados para el 2018 por región.*

Región	Área de CA 2018 (ha)	Área de CA 2019 (ha)	Modificación por región (ha)	Porcentaje de modificación por región (%)
Chorotega	528.652,73	536.118,04	7.465,31	1,41
Brunca	427.217,52	457.833,12	30.615,60	7,17
Central	355.675,74	401.790,88	46.115,14	12,97
Huetar Norte	372.554,45	390.817,92	18.263,47	4,90
Huetar Caribe	327.550,08	352.287,53	24.737,45	7,55
Pacífico Central	216.311,72	223.895,50	7.583,78	3,51
Total	2.227.962,24	2.362.743,01	134.780,77	6,05

En el caso de CA para el 2019 se observaron cambios de aumento en la cantidad de hectáreas, este aumento puede deberse a la dinámica del área de estudio, es decir si el área de estudio aumentó, es altamente probable que para el 2019 también se detectaran más hectáreas para este paisaje. La detección del aumento de hectáreas también se debe a una mejora en las técnicas de clasificación e insumos utilizados por el Laboratorio PRIAS para el monitoreo del año 2019, esto permitió clasificar áreas que para el 2018 no fue posible ya que correspondían a áreas cubiertas por nubes en las imágenes satelitales.

VI. CONCLUSIONES

En este apartado se presentan las conclusiones obtenidas al identificar el paisaje de cobertura arbórea, cabe destacar que son conclusiones basadas en el área de estudio, la cual es de 2 km a partir de los cultivos monitoreados por la herramienta MOCUPP.

- Por medio de este estudio se logró identificar 2.362.743,01 ha dentro de los 2 km (buffer) de los paisajes productivos de MOCUPP.
- La región Chorotega presenta la mayor extensión de cobertura arbórea con un 22,69%.
- La región Pacífico Central presenta la menor extensión de cobertura arbórea con un 9,48%.
- La región con el mayor porcentaje de ocupación de cobertura arbórea en el área de estudio es la Región Pacífico Central (58,45%).
- La región con menor porcentaje de ocupación de cobertura arbórea en el área de estudio es la Región Huetar Norte (43,22%).
- El paisaje de cobertura arbórea está presente en los 82 cantones del país.
- Los 5 cantones con mayor extensión de CA son: San Carlos (148.584,90 ha), Buenos Aires (115.295,66 ha), Puntarenas (112.408,49 ha), Osa (109.325,12 ha) y Sarapiquí (100.723,85 ha).
- Los 5 cantones con menor extensión de CA son: Flores (31,15 ha), Tibás (70,92 ha), San Pablo (101,35 ha), Belén (120, 34 ha) y Curridabat (237,21 ha).
- El cantón con mayor porcentaje de ocupación de cobertura arbórea es Talamanca con un 78,10% dentro del área de estudio.
- El 50,71% de la cobertura arbórea se alberga en 12 cantones: San Carlos, Buenos Aires, Puntarenas, Osa, Sarapiquí, Pococí, Santa Cruz, Golfito, Pérez Zeledón, Nicoya, Limón y Talamanca.
- Finalmente, es importante mencionar que la presente información y su correspondiente capa geográfica funge como complemento e insumo para el análisis de pérdida, ganancia y no cambio de cobertura arbórea de los paisajes productivos monitoreados por el MOCUPP.

VII. REFERENCIAS

- Arguedas, C., Vargas, C., & Miller, C. (2021). *Informe: Monitoreo del estado de la piña en Costa Rica para el año 2019, asociado con la pérdida y ganancia entre la cobertura forestal*. San José, Costa Rica: Laboratorio PRIAS, CeNAT, CONARE. <http://hdl.handle.net/20.500.12337/8255>
- Aguilar, H., Ávila, I., Jiménez, M., Fallas, E., Vargas, A., Hernández, S., & Miller, C. (2021). *Guía para validar las capas de pastos y cobertura arbórea*. San José, Costa Rica: Laboratorio PRIAS, CeNAT, CONARE.
- Aguilar, H., Blanco, B., Calvo, Y., Ortega, M., Vargas, A., Vargas, Y., & Miller, C. (2019). *Informe I paisaje productivo de pastos sin árboles para el año 2018 en Costa Rica*. San José, Costa Rica: Laboratorio PRIAS, CeNAT, CONARE.
- Aguilar, H., Calvo, Y., B, B., Vargas, A., Romero, D., Jiménez, M., Fernández, J., Hernández, S., Manrow, M., & Miller, C. (2021). *Informe Final del Paisaje Productivo de Pastos para el año 2018 dentro del MOCUPP*. San José, Costa Rica: Laboratorio PRIAS, CeNAT, CONARE. <http://hdl.handle.net/20.500.12337/8256>
- Aguilar, H., Miller, C., Calvo, Y., Blanco, B., Vargas, A., Romero, D., Vargas, Y., & Ortega, M. (2020). *Informe piloto del paisaje productivo de pastos menor al 30% de cobertura arbórea para el año 2018*. San José, Costa Rica: Laboratorio PRIAS, CeNAT, CONARE. <https://hdl.handle.net/20.500.12337/7888>
- Aguilar, H., Vargas, C., Ávila, I., & Miller, C. (2020). *Propuesta de proyecto: Productos adicionales para el MOCUPP*. San José, Costa Rica: Laboratorio PRIAS, CeNAT, CONARE.

Aguilar, H., Vargas, C., Ávila, I., Miller, C., & Romero, D. (2020). *Protocolo para el levantamiento de la información de campo dentro del proyecto MOCUPP*. San José, Costa Rica: Laboratorio PRIAS, CeNAT, CONARE.

Alvarado, S., Benavides, J., Calvo, J., Carrizales, A., Espinosa, U., Hernandez, S., & Sancho, D. (2015). *Diagnóstico situacional del Cantón de San Carlos*. <https://www.munisc.go.cr/documentos/Secciones/20/Diagn%C3%B3stico%20situacional%20del%20Cant%C3%B3n%20de%20San%20Carlos.pdf>

Araya, J. (2015). *Plan Regional de Desarrollo Agropecuario y Rural 2016-2018*. http://www.infoagro.go.cr/InfoRegiones/Documents/PRDAR_2015-2018_PacificoCentral.pdf

ArcGis. (2019). *¿Qué es una geodatabase?* <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/manage-data/geodatabases/what-is-a-geodatabase.htm>

Arroyo, L. A., Cocero, D., Manzanera, J. A., & García, L. G. (2005). El empleo de clasificadores de contexto para la obtención de cartografía en la interfase urbano forestal . *GeoFocus. Revista Internacional De Ciencia Y Tecnología De La Información Geográfica*, 5, 115-128.

Ávila, I., Fallas, E., Acuña, S., Hernández, S., Montenegro, E., & Miller, C. (2021). *Informe final del Paisaje de Cobertura Arbórea presente en un radio de 2 km alrededor de los paisajes productivos del MOCUPP para el año 2018*. San José, Costa Rica: Laboratorio PRIAS, CeNAT, CONARE. <http://hdl.handle.net/20.500.12337/8254>

Avogadro, E., & Padró, J. (2019). *Diferenciación de plantaciones forestales en Entre Ríos (Argentina): Comparación de métodos de clasificación aplicados a imágenes*

sentinel-2 y lan. GeoFocus 24. Recuperado el 23 de abril de 2022, de <http://dx.doi.org/10.21138/GF.652>

Banco mundial. (2016). *La riqueza forestal de Costa Rica es mayor que lo previsto, según la contabilidad de sus recursos naturales*. World Bank Group. Recuperado el 28 de abril de 2022, de <https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2016/05/31/accounting-reveals-that-costa-ricas-forest-wealth-is-greater-than-expected>

Barrantes, J., & Jiménez, R. (2007). *Caracterización de la agrocadena de carne bovina*. <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/E70-10276.pdf>

Benarchid, O., Raissouni, N., Sobrino, J., & El Ayyan, A. (2015). *Aplicación del estimador de parámetros de segmentación por media-desplazada (EPSM) a las imágenes de satélite de muy alta resolución espacial: Tetuán (Marruecos)*. Revista de teledetección,. Recuperado el abril 22 de 2022, de <https://polipapers.upv.es/index.php/raet/article/view/3511/4089>

Bermúdez, G. (2018). *Evaluación del cambio de uso de la tierra y fragmentación de la cobertura forestal en el Cooredor Biológico Lago Arenal Tenorio, mediante técnicas de teledetección, Costa Rica*. Universidad Nacional de Costa Rica. Recuperado el 24 de abril de 2022, de https://www.repositorio.una.ac.cr/bitstream/handle/11056/14282/1_Tesis%20%28Final%2020180226%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Canet, G. (2015). Recuperación de la cobertura forestal en Costa Rica, logro de la sociedad costarricense. *Revista Ambientico*(253), 17-22p. <http://www.ambientico.una.ac.cr/pdfs/ambientico/253.pdf>

Carbó, R., Guerrero, C., & Salas, R. (2008). *Iniciativas para el desarrollo sostenible del Área de Conservación Arenal- Huetar Norte, Costa Rica*.
https://ddd.uab.cat/pub/trerecpro/2008/hdl_2072_5274/PFCMaleku.pdf

Catuna, R. (1995). La percepción remota y el análisis del espacio geográfico. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 5(2), 83-106.
<https://revistas.unal.edu.co/index.php/rcg/article/view/70766>

Chavarría, Y., Martínez, A., Ortiz, E., & Goyenechea, I. (2019). Evolución en la selección de áreas protegidas en el continente americano: el caso de Estados Unidos, México y Costa Rica. *Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, 7, 47-53. 10.29057/icbi.v7i13.3433

Chuvieco, E. (2008). *Teledetección ambiental: La observación de la Tierra desde el Espacio. Tercera edición*. España: Ariel S.A.

Chuvieco, E. (2010). *Teledetección ambiental: La observación de la Tierra desde el espacio*. Ariel S.A.

Comité Sectorial Agropecuario de la Región Chorotega. (2017). *Plan de acciones climáticas y gestión de riesgo 2018-2022*.
http://www.infoagro.go.cr/Inforegiones/Documents/PACGR_2018-2022_RegionChorotega.pdf

Comité Sectorial Regional Agropecuario [CSRA]. (2015). *PLAN REGIONAL DE DESARROLLO AGROPECUARIO Y RURAL 2015-2018*. Obtenido de
http://www.infoagro.go.cr/InfoRegiones/Documents/PRDAR_2015-2018_Brunca.pdf

Copernicus. (2018). *El componente espacio Copernicus*. España.

- Costa, H., Foody, G., & Boyd, D. (2018). *Supervised methods of image segmentation accuracy assessment in land cover mapping. Remote Sensing of Environment. Remote Sensing of Environment* 205. 10.1016/j.rse.2017.11.024
- Duarte, K. (2020). *Protocolo de trabajo: Interpretación visual de puntos de muestreo para determinar el LULC en paisajes productivos del MOCUPP*. San José, Costa Rica: CeNAT-PRIAS.
- Emanuelli, P., Duarte, E., Milla, F., Orellana, O., & López, S. (2016). *Sitio piloto cantón de Puriscal: Validación del mapa de cobertura forestal y uso de la tierra del año 2012*. 10.13140/RG.2.2.32894.59204
- Escobar, F. H., Bishop, I., & Zerger, A. (s.f). *Introducción a los SIG*. https://www.geogra.uah.es/gisweb/1modulosespanyol/IntroduccionSIG/GISModule/GIST_Vector.htm
- Furones, Á. (2010). Sistema y marco de referencia terrestre. Sistema de coordenadas. Universidad Politécnica de Valencia. 22 p. <http://www.upv.es/unigeo/index/docencia/etsigct/astronomia/teoria/astronomia210.pdf>
- Hernández, L., Barquero, A., Hernández, W., Méndez, A., Montero, W., & Sánchez, H. (2016). *Informe Final “Gestión de los recursos forestales en Costa Rica”*. *Vigésimosegundo Informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible*. <http://repositorio.conare.ac.cr/handle/20.500.12337/389>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. d. (2014). *Metodología de la Investigación*. México: McGRAW-HILL. <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>

Instituto Costarricense de Turismo [ICT]. (2011). *Plan de Desarrollo Turístico Zona de los Santos*. <https://www.ict.go.cr/es/documentos-institucionales/plan-nacional-y-planes-generales/planes-generales-por-unidad-de-planeamiento/valle-central/sector-zona-de-los-santos/documentos-2/128-pgut-sector-zona-de-los-santos/file.html>

Instituto Costarricense de Turismo [ICT]. (2020). *Guía Turística Cultural de Sarapiquí*. <https://www.ict.go.cr/flipbook/guias/PDF/SARAPIQUI.pdf>

Instituto de Estudios Cajasol. (2021). *¿Qué son los Commodities? Características y Clasificación*. <https://institutocajasol.com/que-son-los-commodities/>

Instituto Geográfico Nacional. (s.f). *Teledetección*. España. <https://www.ign.es/web/resources/docs/IGNCnig/OBS-Teledeteccion.pdf>

Jensen, J. (2014). *Remote Sensing of the Environment An Earth Resource Perspective*. Recuperado el 22 de abril de 2022, de <https://www.pdfdrive.com/advances-in-environmental-remote-sensing-sensors-algorithms-and-applications-e168530139.html>

Jiménez, M., Vargas, A., Aguilar, H., Ávila, I., Fallas, E., Vargas, Y., & Miller, C. (2022). *Guía para elaborar la malla vectorial 2019 en los paisajes de pastos y cobertura arbórea*.

Khatami, R., Mountrakis, G., & Stehman, S. (2017). *Mapping per-pixel predicted accuracy of classified remote sensing images*. *Remote Sensing of Environment* (191). 10.1016/j.rse.2017.01.025

Marquina, J., & Mogollón, A. (2018). Niveles y escalas de levantamiento de información geográfica en sensores remotos. *Revista Geográfica Venezolana*, 59, 42-52.

<https://www.redalyc.org/jatsRepo/3477/347760307004/html/index.html>

Meza, V., Alfaro, K., Bedoya, R., Romero, M., Valerio, A., & Montenegro, P. (2019). *Reforestación Comercial en Costa Rica Regiones Huetar Atlántica, Norte y Chorotega*. https://www.fonafifo.go.cr/media/2976/reforestacion_comercial.pdf

MINAE – SINAC – CONAGEBIO – FONAFIFO. (2018). *Resumen del Sexto Informe Nacional de Costa Rica ante el Convenio de Diversidad Biológica. Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo - Apoyo técnico para que las Partes Elegibles desarrollen el Sexto Informe nacional para el CBD*. Recuperado el 5 de mayo de 2022, de

https://chmcostarica.go.cr/sites/default/files/content/Estado%20de%20la%20Biodiversidad_lectura%20digital.pdf

Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica [MIDEPLAN]. (2006b). *Diagnóstico socioeconómico Región Brunca, 2006*. <http://www.infoagro.go.cr/Inforegiones/RegionBrunca/Documents/DIAGN%C3%93STICO%20REGION%20BRUNCA%202006%20VERSION%20FINAL.pdf>

Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica [MIDEPLAN]. (Mayo de 2014a). *Plan de Desarrollo Región Central*.

<https://documentos.mideplan.go.cr/share/s/IYWuj9BPQJehfcR4EuE1CA>

Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica [MIDEPLAN]. (Mayo de 2014e). *Plan de Desarrollo Región Pacífico Central*.

https://documentos.mideplan.go.cr/share/s/Xvhmk_mcSlal2GRZPB7arQ

Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica [MIDEPLAN]. (Mayo de 2014f).

Plan de Desarrollo Región Huetaar Caribe.

<https://documentos.mideplan.go.cr/share/s/lBwbYuYBSyCO4A3u7WvgWA>

Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica [MIDEPLAN]. (2017). *Costa Rica: estadísticas Regionales 2010-2015.* San José, Costa Rica.

Rica: estadísticas Regionales 2010-2015. San José, Costa Rica.

[http://obturcaribe.ucr.ac.cr/documentos-publicaciones/planes-y-](http://obturcaribe.ucr.ac.cr/documentos-publicaciones/planes-y-programas/mideplan-1/312-costa-rica-estadisticas-regionales-2010-2015/file)

[programas/mideplan-1/312-costa-rica-estadisticas-regionales-2010-2015/file](http://obturcaribe.ucr.ac.cr/documentos-publicaciones/planes-y-programas/mideplan-1/312-costa-rica-estadisticas-regionales-2010-2015/file)

Minitab. (2022). *Estadísticos kappa y coeficientes de Kendall.*

[https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/quality-and-](https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/quality-and-process-improvement/measurement-system-analysis/supporting-topics/attribute-agreement-analysis/kappa-statistics-and-kendall-s-coefficients/)

[process-improvement/measurement-system-analysis/supporting-topics/attribute-](https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/quality-and-process-improvement/measurement-system-analysis/supporting-topics/attribute-agreement-analysis/kappa-statistics-and-kendall-s-coefficients/)

[agreement-analysis/kappa-statistics-and-kendall-s-coefficients/](https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/quality-and-process-improvement/measurement-system-analysis/supporting-topics/attribute-agreement-analysis/kappa-statistics-and-kendall-s-coefficients/)

Mora, V. (2020). *Caracterización Regional de la Región de Desarrollo Huetaar Caribe*

2020. San José, Costa Rica.

<https://www.mag.go.cr/regiones/rha/Caracteriazacion-regional.pdf>

Municipalidad de Buenos Aires. (Agosto de 2012). *Plan de Desarrollo Humano Cantonal*

2013-2023, Cantón de Buenos Aires.

Municipalidad de Golfito. (Agosto de 2012). *Plan de Desarrollo Humano Local de Golfito*

2013-2023.

[https://munidegolfito.go.cr/images/planes/PLAN_DE_DESARROLLO_HUMANO](https://munidegolfito.go.cr/images/planes/PLAN_DE_DESARROLLO_HUMANO_LOCAL.pdf)

[LOCAL.pdf](https://munidegolfito.go.cr/images/planes/PLAN_DE_DESARROLLO_HUMANO_LOCAL.pdf)

Municipalidad de Osa. (Noviembre de 2012). *PLAN DE DESARROLLO HUMANO*

LOCAL DEL CANTÓN DE OSA 2012-2023.

<https://www.gobiernolocalosa.go.cr/pdf/documentos/alcald%EDa/PCDHL%20OSA%20%20Diciembre%202012-2023.pdf>

Municipalidad de Turrialba. (Abril de 2016). *Plan Cantonal de Desarrollo Humano Local del Cantón de Turrialba*.
<http://muniturrialba.go.cr/docs/planificacion/Plan%20Cantonal%20DHL%20Turrialba.pdf>

NASA-DEVELOP. (2020). *Determining Protected Area Land Change in Costa Rica and Panama for Targeted Resource Management*. Washington D.C.: NASA.

Nicolis, O., & Gonzalez, C. (2021). Wavelet-based fractal and multifractal analysis for detecting mineral deposits using multispectral images taken by drones. En *Methods and Applications in Petroleum and Mineral Exploration and Engineering Geology* (págs. 295-307). Elsevier.

Olofsson, P., Foody, G. M., Herold, M., Stehman, S., Woodcock, C., & Wulder, M. (2014). Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change. *Remote Sensing of Environment*, 148, 42-57. 10.1016/j.rse.2014.02.015

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2017). *Lineamientos de Calidad de la información geográfica*.
http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/FAOcountries/Colombia/docs/Agosto_2017/FAOCO-2017-LC018_Anexo_4_Lineamientos_de_calidad_de_datos_geogr%C3%A1ficos.pdf

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la agricultura [FAO]. (2020). *El estado de los bosques del mundo 2020. Los bosques, la biodiversidad y las personas*. Roma. <https://doi.org/10.4060/ca8642es>

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). y Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). (2020). El estado de los bosques del mundo 2020. Los bosques, la biodiversidad y las personas. Roma. <https://doi.org/10.4060/ca8642es>.
- Poder Ejecutivo. (1985). Recuperado el 9 de mayo de 2022, de http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=59724&nValor3=66813&strTipM=TC
- Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD]. (2015). *MOCUPP: monitoreo de cambio de uso en paisajes productivos*. Recuperado el 28 de abril de 2022, de <http://mocupp.org/sites/default/files/documento-mocupp-es.pdf>
- Promotora de Comercio Exterior de Costa Rica [PROCOMER]. (6 de octubre de 2020). *El privilegio de la ubicación geográfica Pacífico Central*. <https://www.procomer.com/noticia/exportador-noticia/blog-el-privilegio-de-la-ubicacion-geografica-de-pacifico-central/>
- Provost, F., & Kohavi, R. (1998). Glossary of terms. *Journal of Machine Learning*. 30.2-3, 271-274.
- Python. (Abril de 2022). *Preguntas frecuentes generales sobre Python*. <https://docs.python.org/es/3/faq/general.html#what-is-python>
- Rodríguez, D., Sánchez, N., Domínguez, J., & Marta, C. (2015). *Cuestiones de teledetección*. Universidad Estatal a Distancia. <https://elibro.net/es/ereader/conare/48836>
- Román, M., & Morales, N. (2018). *Región Huetar Caribe: situación socioeconómica y principales desafíos*.

https://repositorio.conare.ac.cr/bitstream/handle/20.500.12337/2954/Region_Huetar_Caribe_situacion_socioeconomica_principales_desafios.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Rosales, A. (2015). *LEYENDA CLC-CR PARA LA GENERACIÓN DE MAPAS DE USO Y COBERTURA DE LA TIERRA DE COSTA RICA. MAG-INTA*. Recuperado el 27 de abril de 2022, de Ministerio de Agricultura y Ganadería: <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/P32-10829.pdf>

Sacristán, F. (2006). La Teledetección satelital y los sistemas de protección ambiental. *AquaTIC*, 24, 13-41. 0.22518/16578953.701

Sacristán, F. (2006). *La Teledetección satelital y los sistemas de protección ambiental*. Recuperado el 22 de abril de 2022, de https://www.researchgate.net/publication/26479103_La_Teledeteccion_satelital_y_los_sistemas_de_proteccion_ambiental

Sánchez-Azofeifa, A. (2015). Análisis de la cobertura forestal de Costa Rica entre 1960 y 2013. *Revista Ambientico*(253), 4-11.

Sasa, K. y Acuña, F. (2021). Soluciones de monitoreo del cambio de uso de la tierra en apoyo de los commodities libres de deforestación. Orientación Práctica. PNUD. <https://www.cr.undp.org/content/costarica/es/home/library/revision-de-las-soluciones-de-monitoreo-del-cambio-de-uso-de-la-.html>.

Sauma, P. (2011). Las desigualdades intrarregionales y la reducción de la pobreza de la Región Chorotega. *Ciencias Económicas*, 331-397.

SCIJ, S. C. (2019). *Reforma División Regional del Territorio de Costa Rica, para los efectos de investigación y planificación del desarrollo socioeconómico (N° 9501)*.

http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.as

Serrano, M. E., Campos, J. J., Villalobos, R., Galloway, G., & Herrera, B. (2007). Zonificación de la cobertura forestal a escala de paisaje en el cantón de Hojancha, Costa Rica. *Recursos Naturales y Ambiente*, 85-95.

Servicios Geológico Minero Argentino [SEGEMAR]. (s.f.). *Sensores Remotos*. <https://www.argentina.gob.ar/produccion/segemar/geologia-y-recursos-minerales/sensores-remotos>

Setyawan, E. (12 de Agosto de 2019). *Satellite Imagery: Resolution vs. Accuracy*. <https://www.intermap.com/blog/satellite-imagery-resolution-vs.-accuracy>

Shen, H., Lin, Y., Tian, Q., Xu, K., & Jiao, J. (2018). *A comparison of multiple classifier combinations using different voting-weights for remote sensing image classification*. . *International Journal of Remote Sensing* (39). 10.1080/01431161.2018.1446566

Sistema Nacional de Áreas de Conservación [SINAC]. (2015). *Cartografía base para el Inventario Forestal Nacional de Costa Rica 2013-2014*.

Space-Based Positioning Navigation & Timing. (S.f). El Sistema de Posicionamiento Global. GPS.GOV. Recuperado el 1 de Marzo de 2021 de <https://www.gps.gov/systems/gps/spanish.php>

Tec Digital. (2014). *Acerca de la GAM. Plan GAM*. <https://tecdigital.tec.ac.cr/servicios/gam/?q=node/11>

- Troya, J (2019) PNUD en Costa Rica. Taller Big Enchilada Workshop: Mapeo de la naturaleza para las personas y el planeta. Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). San José, Costa Rica.
- United States Geological Survey [USGS]. (2022). *Landsat Missions*. <https://www.usgs.gov/landsat-missions>
- Vargas, A., Romero, D., Aguilar, H., & Miller, C. (2020). *Guía básica para la clasificación y codificación de imágenes con alto porcentaje de nubes*. San José, Costa Rica: Laboratorio PRIAS, CeNAT, CONARE.
- Vargas-Rojas, H. (2021). Aumento de la cobertura boscosa en la Zona Norte de Costa Rica: participación de los gobiernos locales en el Programa Huella del Futuro. *Ambientico*, 279(4), 28-37. Recuperado el 28 de abril de 2022, de <https://www.ambientico.una.ac.cr/wp-content/uploads/tainacan-items/5/36546/005-Vargas.pdf>
- Weng, Q. (2011). *Advances in Enviromental Remote Sensing: Sensores, Algorithms and Aplications*. Recuperado el 22 de abril de 2022, de <https://www.pdfdrive.com/advances-in-environmental-remote-sensing-sensors-algorithms-and-applications-e168530139.html>
- WWF. (2 de octubre de 2018). *Glosario ambiental: ¿Qué son las cercas vivas?* <https://www.wwf.org.co/?uNewsID=335770>
- Yang, X., Zhao, S., Qin, X., Zhao, N., & Liang, L. (2018). *Mapping of urban surface water bodies from Sentinel-2 MSI imagery at 10 m resolution via NDWI-based image sharpening*. Remote Sensing.



Zanetti, E., Gómez, J., Mostacedo, S., & Reyes, O. (2017). *Cambio climático y políticas públicas forestales en América Latina*. Programa EUROCLIMA. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Recuperado el 28 de abril de 2022, de

https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40922/4/S1601346_es.pdf

Zevallos, E. (2013). *Agenda de competitividad para la Región Huetar Norte: Caracterización Socioeconómica de la Región Huetar Norte*. Ministerio de Economía, Industria y Comercio [MEIC], San José, Costa Rica. Obtenido de <https://www.munisc.go.cr/documentos/NuestraMunicipalidad/Caracterizaci%C3%B3n%20Socioecon%C3%B3mica%20de%20la%20Regi%C3%B3n%20Huetar%20Norte.pdf>

Zumbado, F. (2014). ETNOTURISMO EN EL CANTON DE BUENOS AIRES, COSTA RICA. *Revista Lider*, 151-170.

VIII. ANEXOS

8.1. **Anexo 1.** Resultados del cálculo del tamaño de la muestra para el paisaje de cobertura arbórea. Año 2019.

Clase	Área (ha)	Área (%)	Puntos validación
Cobertura arbórea	2.297.071,37	49,58	384
No cobertura arbórea	2.335.898,31	50,42	384
TOTAL	4.632.969,68	100,00	768

Nota: Los datos fueron calculados basados en el archivo vectorial de Límite cantonal 1:5.000 SNIT, 2022.

8.2. **Anexo 2.** Matriz de confusión para el paisaje de cobertura arbórea. Año 2019.

Matriz de confusión	No cobertura arbórea	Cobertura arbórea	TOTAL
Cobertura arbórea	667	34	701
No cobertura arbórea	40	495	535
TOTAL	707	529	1162

Nota: Los datos fueron calculados basados en el archivo vectorial de Límite cantonal 1:5.000 SNIT, 2022.

8.3. **Anexo 3.** Estadísticos de la capa del paisaje de cobertura arbórea. Año 2019.

Coeficiente Kappa	
N	1236
N²	1.527.696
xii	1162
(xi+ * x+i)	778.622
Khat	0,88
Exactitud del Productor	
Cobertura arbórea	94,34
No cobertura arbórea	93,57
Exactitud del Usuario	
No cobertura arbórea	95,15
Cobertura arbórea	92,52
Exactitud de la capa de cobertura arbórea 2019	
Exactitud total	94,01
Error global	5,99

Nota: Los datos fueron calculados basados en el archivo vectorial de Límite cantonal 1:5.000 SNIT, 2022.

8.4. Anexo 4. Desglose por cantones de las hectáreas y porcentaje de área de ocupación de CA por cada región de estudio. Año 2019.

Región	Cantón	Área de cobertura arbórea (ha)	Porcentaje de ocupación (%)	Área total por región
Huetar Norte	Guatuso	25.695,80	36,16	390.817,92
	Los Chiles	42.111,54	32,79	
	Río Cuarto	8.353,05	32,77	
	San Carlos	148.584,90	44,95	
	Sarapiquí	100.723,85	50,32	
	Upala	65.348,79	44,03	
Chorotega	Abangares	33.606,02	52,22	536.118,04
	Bagaces	57.735,28	46,19	
	Cañas	27.946,26	41,02	
	Carrillo	28.760,73	49,81	
	Hojancha	18.601,93	70,73	
	La Cruz	60.224,60	61,26	
	Liberia	65.794,98	51,37	
	Nandayure	38.257,45	68,23	
	Nicoya	85.949,23	64,46	
	Santa Cruz	90.194,91	69,34	
	Tilarán	29.046,66	43,47	
Brunca	Buenos Aires	115.295,66	52,20	457.833,12
	Corredores	18.479,72	29,23	
	Coto Brus	38.595,03	49,90	
	Golfito	88.714,60	64,53	
	Osa	109.325,12	66,63	
	Pérez Zeledón	87.423,00	49,76	
Central	Acosta	17.744,84	51,80	401.790,88
	Alajuela	12.791,88	34,26	

Región	Cantón	Área de cobertura arbórea (ha)	Porcentaje de ocupación (%)	Área total por región
	Alajuelita	791,15	36,86	
	Alvarado	2.139,89	27,02	
	Aserri	7.753,94	47,52	
	Atenas	4.405,52	34,88	
	Barva	2.572,97	45,94	
	Belén	120,34	9,72	
	Cartago	9.261,43	41,21	
	Curridabat	237,21	14,77	
	Desamparados	3.692,86	33,04	
	Dota	28.896,20	76,15	
	El Guarco	9.758,33	62,61	
	Escazú	1.154,76	33,90	
	Flores	31,15	4,62	
	Goicoechea	931,58	31,15	
	Grecia	3.829,76	26,97	
	Heredia	10.015,18	71,23	
	Jiménez	12.172,74	60,51	
	La Unión	1.640,84	37,14	
	León Cortés Castro	3.607,70	29,80	
	Montes de Oca	445,99	28,40	
	Mora	9.278,45	56,76	
	Moravia	1.265,71	43,95	
	Naranjo	2.119,13	16,68	
	Oreamuno	6.453,46	48,35	
	Palmares	515,80	13,25	
	Paraíso	12.013,66	57,04	

Región	Cantón	Área de cobertura arbórea (ha)	Porcentaje de ocupación (%)	Área total por región
	Poás	1.911,90	26,03	
	Puriscal	32.046,63	57,74	
	San Isidro	876,86	32,88	
	San José	322,74	7,50	
	San Pablo	101,35	12,15	
	San Rafael	1.996,11	41,35	
	San Ramón	47.609,53	58,47	
	Santa Ana	2.545,96	41,45	
	Santa Bárbara	1.746,04	33,51	
	Santo Domingo	371,35	14,62	
	Sarchí	7.885,16	59,63	
	Tarrazú	16.428,49	56,45	
	Tibás	70,92	9,01	
	Turrialba	78.177,53	67,33	
	Turrubares	28.689,58	68,98	
	Vázquez de Coronado	10.027,18	69,36	
	Zarcelero	5.341,04	33,94	
Huetar Caribe	Guácimo	25.736,35	45,08	352.287,53
	Limón	82.361,84	74,33	
	Matina	31.858,20	50,27	
	Pococí	95.039,50	48,05	
	Siquirres	35.203,97	41,25	
	Talamanca	82.087,67	78,10	
Pacífico Central	Esparza	11.594,89	53,38	223.895,50
	Garabito	20.245,85	65,29	
	Montes de Oro	13.856,16	56,15	

Región	Cantón	Área de cobertura arbórea (ha)	Porcentaje de ocupación (%)	Área total por región
	Orotina	5.481,65	37,78	
	Parrita	23.396,54	48,44	
	Puntarenas	112.408,49	64,38	
	Quepos	31.159,05	55,91	
	San Mateo	5.752,88	46,01	
Área Total CA		2.362.743,01	53,09	

Nota: Los datos fueron calculados basados en el archivo vectorial de Límite cantonal 1:5.000 SNIT, 2022.

8.5. Anexo 5. Colaboradores del proyecto MOCUPP. Año 2020. (Arguedas et al, 2020).

AGRADECIMIENTOS

El Proyecto MOCUPP, extiende su más sincero agradecimiento a los siguientes funcionarios, por su colaboración durante el proceso de monitoreo efectuado en el año 2020, para los paisajes de piña, palma aceitera, pastos productivos y cobertura arbórea.

Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)

Kifah Sasa (Asesor Senior Programa Green Commodities)
 Miriam Miranda (Coordinadora Proyecto Paisajes Productivos)
 Maureen Balletero (Especialista en arreglos institucionales)
 Francini Acuña (Especialista en Sistemas de Información Geográfica y Teledetección)

Douglas Arauz (Encargado Agencia MAG Nandayure)
 Danilo Guzmán (Técnico pecuario Agencia Nandayure)
 Gilberto López (Coordinador Regional del Programa de Ganadería Sostenible)

Oficina de Acciones Climáticas (MAG)

Mauricio Chacón (Coordinador)

Ministerio de Ambiente y Ganadería (MAG)

Ana Cristina Quirós (Viceministra)

Dirección Nacional de Extensión Agropecuaria (MAG)

Nils Solórzano (Director Nacional)
 Viviana Delgado
 Joaquín Torres

MAG Región Brunca

Roger Montero (Director Regional)
 Roberto Chacón (Extensionista)
 César Villalobos (Extensionista)
 Marcelo Hidalgo (Extensionista)
 Kendall Ureña (Extensionista)
 Fernando Fallas (Extensionista)
 Aaron Quirós (Coordinador Regional InfoAgro)

Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE)

Rafael Monge (Director CENIGA)

MAG Región Huetar Caribe

Yendri Delgado (Directora Regional)
 Jimmy Medina (Extensionista)
 Delfín Rojas (Extensionista)
 Armando Jiménez (Extensionista)

MAG Región Huetar Norte

Fernando Vargas (Director Regional)
 Norman Mora (Jefe Unidad de Extensión)
 Beatriz Corrales (Extensionista)
 Justo Rubio (Extensionista)

