

# Pastos sin árboles Costa Rica

Conservando la biodiversidad por medio del manejo sostenible  
de paisajes productivos en Costa Rica – MOCUPP



Paisajes  
Productivos  
Conservar la biodiversidad con producción sostenible



**CONSEJO NACIONAL DE RECTORES (CONARE)**

**Centro Nacional de Alta Tecnología (CeNAT)**

**Laboratorio PRIAS**

**Conservando la biodiversidad por medio del manejo sostenible de  
paisajes productivos en Costa Rica – MOCUPP  
Pastos sin árboles Costa Rica**

---

**I Entrega: Informe I - Pastos sin árboles Costa Rica**

**Participaron en la elaboración de este documento**

*Heileen Aguilar Arias*

*Brandon Blanco Arias*

*Yorleny Calvo Elizondo*

*Marilyn Ortega Rivera*

*Armando Vargas Céspedes*

*Yerlin Vargas Solano*

**Revisión y aprobación**

*Cornelia Miller Granados*

*Francini Acuña Piedra*

*14/10/2019, San José*

333.951.6  
C755c

Conservando la biodiversidad por medio del manejo sostenible de paisajes productivos en Costa Rica : MOCUPP Piloto Pastos sin árboles Costa Rica [Recurso electrónico] / Heileen Aguilar Arias, [et al.]. -- Datos electrónicos (1 archivo : 3.115 kb). -- San José, C.R. : CONARE - CENAT, 2019.

Formato pdf, 86 páginas.

I Entrega: Informe I-Pastos Costa Rica

1. BIODIVERSIDAD. 2. PAISAJES PRODUCTIVOS. 3. PASTOS. 4. COBERTURA FORESTAL. 5. COSTA RICA. I. Aguilar Arias, Heileen. II. Blanco Arias, Brandon. III. Calvo Elizondo, Yorleny. IV. Ortega Rivera, Marilyn. V. Vargas Céspedes, Armando. VI. Vargas Solano, Yerlin. VII. Título.

LRD



## Contenido

I. RESUMEN .....	9
II. INTRODUCCIÓN .....	10
III. CUMPLIMIENTO DE ACTIVIDADES .....	12
IV. METODOLOGÍA.....	15
4.1 Diagrama de flujo del proceso metodológico .....	15
4.2 Identificación y descripción de la zona de estudio .....	16
4.3 Planificación de toma de puntos de control y validación.....	28
4.4 Muestreo de puntos de control y validación. ....	32
4.4.1 Procesamiento de datos. ....	34
4.5 Tratamiento de imágenes.....	35
4.5.1. Descarga de imágenes satelitales. ....	37
4.5.2. Procesamiento de imágenes satelitales. ....	42
4.6 Segmentación de imágenes satelitales.....	44
4.7 Clasificación y codificación de segmentos .....	47
4.8 Validación de la codificación .....	49
4.9 Elaboración de metadatos y correcciones finales .....	50
V. RESULTADOS.....	51
5.1 Revisión de literatura.....	51
5.2 Muestreo de puntos de control y validación .....	52
5.3 Tratamiento de imágenes satelitales.....	54
VI. ANEXOS .....	77
VII. REFERENCIAS .....	82

## Índice de cuadros

Cuadro 1. Actividades trimestrales según la programación de trabajo del paisaje productivo de pastos sin árboles .....	12
Cuadro 2. Porcentaje de avance de las actividades trimestrales programadas para la programación de trabajo del paisaje productivo de pastos sin árboles. ....	13
Cuadro 3. Cálculo del tamaño de la muestra de pastos para cada Área de Conservación, proyecto MOCUPP, pastos sin árboles de Costa Rica.....	30
Cuadro 4. Características y especificaciones del sensor Landsat.....	40
Cuadro 5. Distribución de bandas del sensor Landsat 8. ....	41
Cuadro 6. Distribución de bandas del sensor Sentinel 2.....	42
Cuadro 7. Pruebas de segmentación para 7 combinaciones diferentes a partir del software Berkeley Image Seg Wizard. ....	46
Cuadro 8. Leyenda para clases de usos del suelo a partir del software Land Cover Classification System. ....	48
Cuadro 9. Cantidad de puntos para el uso de pastos sin árboles y totales para cada Área de Conservación, proyecto MOCUPP, pastos sin árboles de Costa Rica. ...	54
Cuadro 10. Imágenes Sentinel 2 utilizadas para el mosaico y corte en cada Área de Conservación, proyecto MOCUPP, pastos sin árboles de Costa Rica.....	55
Cuadro 11. Porcentaje de avance de las Áreas de Conservación procesadas por método de clasificación y codificación de segmentos. ....	56
Cuadro 12. Pruebas de segmentación con un umbral de 100 para las áreas de conservación ACLAP y ACTo.....	58
Cuadro 13. Número de polígonos para las diferentes combinaciones con el segmentador Berkeley Image Seg Wizard .....	65
Cuadro 14. Resultados obtenidos de la prueba de segmentación utilizando umbral de 50 y 30.....	66

<b>INFORME I PAISAJE PRODUCTIVO DE PASTOS SIN ÁRBOLES PARA EL AÑO 2018 EN COSTA RICA</b>	Informe N° 1
	Cultivo: Pastos productivos
	Fecha: 14/10/2019
	<b>Página 5 de 86</b>

Cuadro 15. Resultados obtenidos en las pruebas de segmentación, utilizando umbrales de 100 y 50 en el distrito del Cairo, Siquirres. .... 69

Cuadro 16. Clasificación y codificación de coberturas en el distrito Cairo, Siquirres. .... 71

Cuadro 17. Resultados obtenidos en la prueba de segmentación utilizando umbrales de 50 y100 en el distrito de Canoas, Corredores. .... 74

Cuadro 18. Clasificación y codificación de coberturas en el distrito de Canoas, Corredores. .... 74

## Índice de figuras

Figura 1. Flujograma de la metodología de trabajo para la elaboración de la capa de pastos sin árboles de Costa Rica en el marco del proyecto MOCUPP. ....	15
Figura 2. Mapa de división por Áreas de Conservación de Costa Rica utilizado para el procesamiento de la información.....	17
Figura 3. Metodología para la toma de puntos de control y validación, proyecto MOCUPP, pastos sin árboles de Costa Rica. ....	28
Figura 4. Metodología para el muestreo de puntos de control y validación, proyecto MOCUPP, pastos sin árboles de Costa Rica. ....	33
Figura 5. Diagrama para el tratamiento de imágenes satelitales Landsat 8 y Sentinel 2. ....	37
Figura 6. Distribución de los cuadrantes en Costa Rica para las imágenes del sensor Landsat 8.....	38
Figura 7. Distribución de los cuadrantes en Costa Rica para las imágenes del sensor Sentinel 2. ....	39
Figura 8. Modelo cartográfico para automatizar el mosaico y corte de las imágenes satelitales. ....	43
Figura 9. Modelo cartográfico para automatizar el mosaico y corte de las imágenes satelitales correspondientes al Área de Conservación Guanacaste.....	44
Figura 10. Distribución de puntos de muestreo y validación para el proyecto MOCUPP, pastos sin árboles de Costa Rica. ....	53
Figura 11. Imagen Sentinel-2 segmentada con diferentes parámetros de umbral en una matriz poco heterogénea.....	60
Figura 12. Imagen Sentinel-2 segmentada con diferentes parámetros de umbral en una matriz heterogénea. ....	62

<b>INFORME I PAISAJE PRODUCTIVO DE PASTOS SIN ÁRBOLES PARA EL AÑO 2018 EN COSTA RICA</b>	Informe N° 1
	Cultivo: Pastos productivos
	Fecha: 14/10/2019
	<b>Página 7 de 86</b>

Figura 13. Imagen Sentinel-2 segmentada con diferentes parámetros de umbral en una matriz muy heterogénea..... 64

Figura 14. Clasificación y codificación de segmentos utilizando umbrales de 50 y 30. .... 67

<b>INFORME I PAISAJE PRODUCTIVO DE PASTOS SIN ÁRBOLES PARA EL AÑO 2018 EN COSTA RICA</b>	Informe N° 1
	Cultivo: Pastos productivos
	Fecha: 14/10/2019
	<b>Página 8 de 86</b>

**Índice de anexos**

Anexo 1. Formulario para toma de datos de campo..... 77

Anexo 2. Clave para la clasificación de cobertura de la Tierra de SIMOCUTE. .... 78

Anexo 3. Adaptación del uso del suelo de la FAO (Land use/cover classification).  
..... 79

Anexo 4. Formulario para la digitación y procesamiento de datos de campo. .... 81

## I. RESUMEN

El proyecto Conservando la biodiversidad por medio del manejo sostenible de paisajes productivos en Costa Rica es financiado por el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF, por sus siglas en inglés), ejecutado por el Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) y apoyado por el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Este proyecto busca generalizar la conservación de la biodiversidad, la gestión sostenible de la tierra y los objetivos de secuestro de carbono hacia los paisajes de producción y los corredores biológicos interurbanos de Costa Rica. Se espera, además, cumplir con varios compromisos ambientales de la agenda nacional; así mismo, difundir la información que se genere, ya que será de orden público y estará disponible para consulta de cualquier usuario en el servidor del Sistema Nacional de Información Territorial (SNIT).

Este proyecto engloba diferentes componentes de desarrollo para llevar a cabo los objetivos planteados. Dentro de estos componentes la ejecución del proyecto Monitoreo de Cambio de Uso de los Paisajes Productivos (MOCUPP) es una de las metas que involucra fuertemente la participación del Laboratorio PRIAS, quien tiene a cargo la elaboración de la información cartográfica de los cultivos de palma aceitera, piña y el paisaje productivo de pastos sin árboles, tanto a nivel de ubicación de las áreas de cultivo; así como, el análisis de pérdida y ganancia de la cobertura forestal asociada a estos cultivos.

Este informe contempla los resultados alcanzados a la fecha para el desarrollo de la capa de pastos sin árboles para Costa Rica, la cual ha sido elaborada basada en el desarrollo de la propuesta del plan piloto del Área de Conservación La Amistad Pacífico (ACLAP).

## II. INTRODUCCIÓN

La ganadería es la actividad humana que ocupa la mayor superficie de la tierra, tiene una importancia significativa a nivel social y político, ya que, además de generar millones de empleos, también es el medio de subsistencia para muchas personas en todo el mundo (Food and Agriculture Organization (FAO), 2009).

En Costa Rica existen 2.406.418,4 hectáreas dedicadas a actividades agropecuarias, en términos de uso, sólo el 43,4% está dedicado a pastos, distribuyéndose estos en pastos naturales, pastos mejorados y pastos de corte (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2015).

La actividad ganadera en Costa Rica ha sido de gran importancia a través de los años. Si bien, los censos realizados han determinado una disminución en el área ocupada por pastos, en la actualidad este sector continúa generando un gran impacto en el desarrollo del país. A nivel nacional, se conocen casos exitosos de buenas prácticas agrícolas utilizadas en el desarrollo de actividades ganaderas que generan el mínimo impacto al ambiente; sin embargo, aún existen casos donde esta actividad puede tener efectos negativos, entre estos se puede mencionar la deforestación, emisión de gases de efecto invernadero, consumo importante de agua, degradación del suelo, entre otros (FAO, 2009) (Cingolani, Noy-Meir, Renison, & Cabido, 2008).

Por esto, es de gran importancia que exista un monitoreo en este tipo de actividades, de manera que puedan ser desarrolladas de forma sostenible.

Actualmente, el avance de la tecnología permite que herramientas como la teledetección puedan ser útiles en diversos estudios relacionados con el uso del suelo. Según Chuvieco (2010), por medio de la teledetección es posible obtener información de los objetos presentes en la superficie terrestre, esto sin tener contacto directo con ellos, por medio de sensores remotos como Landsat y Sentinel.

INFORME I PAISAJE PRODUCTIVO DE PASTOS SIN ÁRBOLES PARA EL AÑO 2018 EN COSTA RICA	Informe N° 1
	Cultivo: Pastos productivos
	Fecha: 14/10/2019
	<b>Página 11 de 86</b>

Con la disponibilidad gratuita de estas imágenes que poseen una resolución media, es posible determinar la ubicación de los paisajes productivos bajo estudio y los cambios en el territorio asociados al uso del suelo. Las metodologías para la identificación de estos productos parten del hecho de que existe conocimiento de la zona de estudio, ya sea por experiencia previa o por trabajo de campo, de forma tal que el usuario puede identificar en la imagen, áreas representativas para cada categoría de uso del suelo y de esta manera implementar algoritmos computacionales que automaticen el proceso (Chuvieco, 2010).

Para el desarrollo de este proyecto el método evaluado es la segmentación de imágenes. Este algoritmo permite identificar segmentos que son homogéneos con respecto a tres variables específicas (umbral, forma y compacidad), de esta manera es posible clasificar los objetos presentes en la imagen.

El objetivo principal es, por tanto, identificar de manera digital y a bajo costo, la cobertura total de paisajes productivos de pastos sin árboles y los focos de deforestación o regeneración de cobertura forestal en el territorio nacional.

### III. CUMPLIMIENTO DE ACTIVIDADES

En el Plan de trabajo presentado en el 2018 para el proyecto general “Conservando la biodiversidad por medio del manejo sostenible de paisajes productivos en Costa Rica-MOCUPP”, se asignaron las actividades que se muestran en el Cuadro 1. Actividades trimestrales según la programación de trabajo del paisaje productivo de pastos sin árboles de todo el país, el cual es abordado en este informe.

**Cuadro 1. Actividades trimestrales según la programación de trabajo del paisaje productivo de pastos sin árboles**

Actividad/Trimestre	2019			
	I	II	III	IV
Cobertura total de pastos sin árboles 2018				
Pre-procesamiento de datos	x			
Giras de campo NANTI MOCUPP	x	x	x	
Giras puntos control validación clasificación	x	x	x	
Digitalización y desarrollo de cobertura total de pastos sin árboles, plan piloto		x	x	x
Validación de la cobertura				x
Publicación en el SNIT				
<b>Entrega Informe de avance</b>			x	

**Nota:** por medio del oficio OF-PRIAS-CeNAT-019-2019 enviado por PRIAS para la solicitud del cambio en el cronograma y la respuesta al oficio recibida por PNUD con fecha del 13 de junio de 2019 CNPP19-010 se incorporaron mejoras en el cronograma que serán informadas a partir del siguiente informe de avance. Dado que este informe contempla gran parte de las actividades llevadas a cabo durante los dos primeros trimestres sin el cambio del cronograma.

De las actividades mencionadas anteriormente se presenta en el Cuadro 2 el porcentaje de avance para cada una de ellas y los comentarios generales a razón de generalizar y justificar dicho avance.

**Cuadro 2. Porcentaje de avance de las actividades trimestrales programadas para la programación de trabajo del paisaje productivo de pastos sin árboles.**

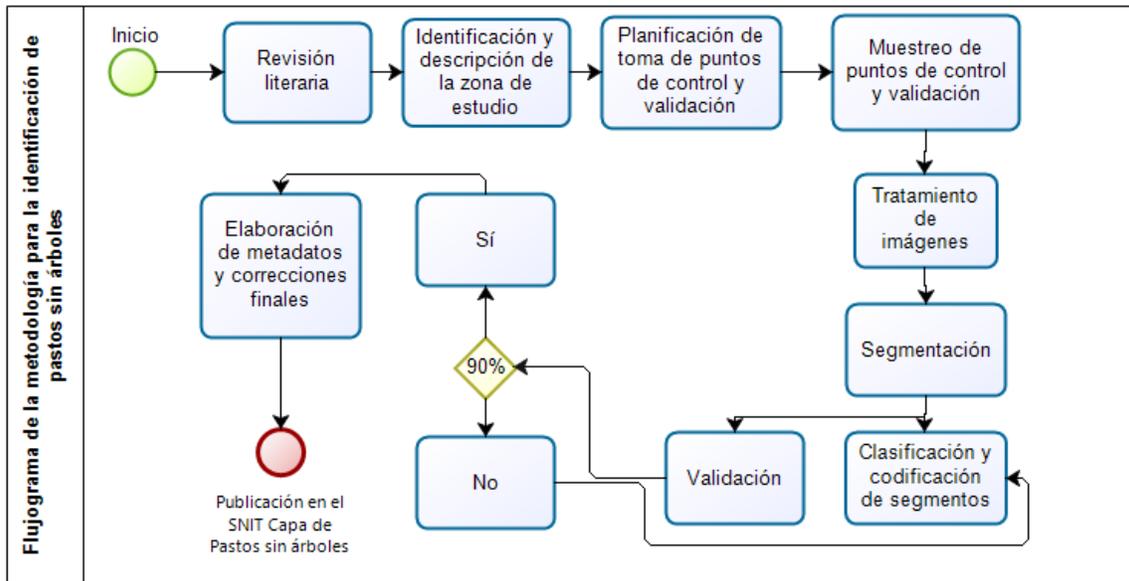
<b>Actividad</b>	<b>Porcentaje de avance</b>	<b>Comentarios</b>
Pre-procesamiento de datos	100%	Se tienen descargadas todas las imágenes Sentinel y Landsat (2018) para todo el país. Se está trabajando por área de conservación utilizando Sentinel 2. Se seleccionaron las mejores imágenes de cada AC y se les ha aplicado unión de bandas, mosaicos y recortes. Se están desarrollando los métodos automatizados para el pre procesamiento de la información (Unión de bandas). Fue necesario revisar los mosaicos por desplazamientos observados a la hora de correr la segmentación, estos fueron corregidos y nuevamente segmentados.
Giras de campo NANTI MOCUPP	100%	Se llevó a cabo una gira a la Zona Norte durante la primera semana del mes de agosto, con esta gira se aplicó el desempeño del uso del dron para la adquisición de puntos de control con mejor precisión, se completaron 125 puntos con datos de dron de 145 total capturados.
Giras puntos control validación clasificación	80%	Se realizaron las giras durante marzo, abril, mayo, junio, agosto y setiembre en diferentes regiones del país en total se han realizado 13 giras para la adquisición de puntos de control de la capa 2018. Por razones de fuerza mayor la gira 13 fue necesario reprogramarla se espera estar finalizando la toma de puntos para el siguiente trimestre. Además en el proceso de validación se encontró que ACT deberán completarse adicional 64, por lo que se deberá reprogramar una gira adicional a esta AC y reprogramar la gira a ACC.

Actividad	Porcentaje de avance	Comentarios
Digitalización y desarrollo de cobertura total de pastos sin árboles	27%	<p>Se han segmentado las áreas de ACLAC, AcTO, ACAT. Se continuará segmentando las otras áreas y se dará inicio a la clasificación de segmentos de las áreas que ya están segmentadas.</p> <p>Se tiene procesado un 92,8% del área AcTO (sin considerar las ASP) a la fecha y basado en los resultados del desempeño de la clasificación de segmentos actual se han realizado pruebas adicionales con umbrales de 30 y 50 umbra, con lo cual se identificó la posibilidad de continuar con el umbral de 50. Se descartó el umbral de 30 dada la excesiva cantidad de polígonos que se generan adicional por clase. Se están realizando pruebas adicionales para determinar si se cambia el umbral actual de 100 por 50.</p>
Validación de la cobertura	5%	Se tiene programado iniciar con la validación del ACTo para la tercera semana de octubre. Se ha realizado la primera validación técnica de ACLAP.
Publicación en el SNIT	0%	Actividad programada para realizarse durante el primer trimestre de 2020.
Entrega informe de avance	100%	Actividad correspondiente a este informe

## IV. METODOLOGÍA

### 4.1 Diagrama de flujo del proceso metodológico

La metodología de trabajo para elaborar la capa de pastos sin árboles para Costa Rica fue desarrollada y evaluada durante la etapa piloto en el Área de Conservación La Amistad Pacífico (ACLAP). En la Figura 1 se muestra el resultado del flujo de trabajo propuesto y los pasos a seguir para la obtención de la capa de pastos sin árboles.

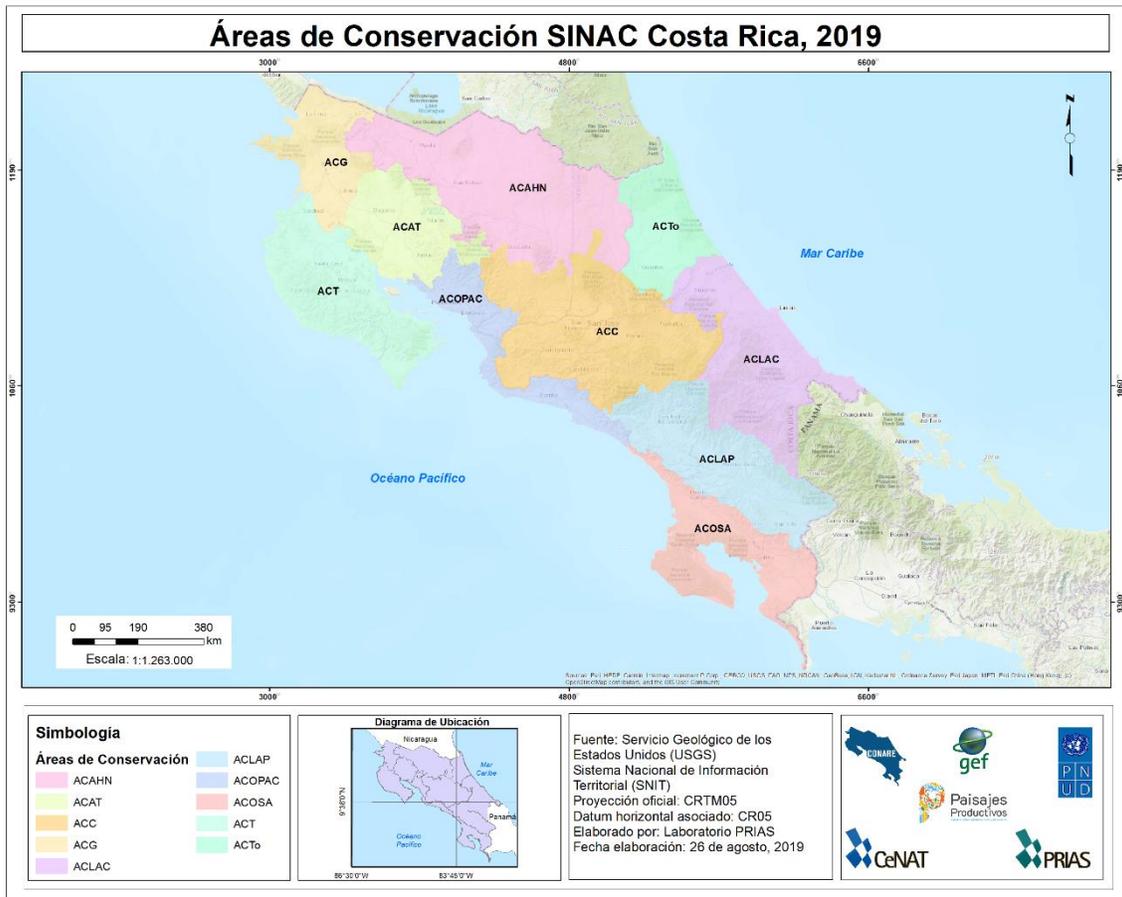


**Figura 1. Flujograma de la metodología de trabajo para la elaboración de la capa de pastos sin árboles de Costa Rica en el marco del proyecto MOCUPP.**

## 4.2 Identificación y descripción de la zona de estudio

Para el desarrollo del proyecto “*Conservando la biodiversidad por medio del manejo sostenible de paisajes productivos en Costa Rica – MOCUPP*” enfocado en el desarrollo de la capa de pastos sin árboles, se eligió el Área de Conservación La Amistad Pacífico como plan piloto para elaborar la metodología del mismo. Por esto, se tomó la decisión de continuar con la ejecución, a nivel de procesamiento, del proyecto a partir de las Áreas de Conservación (AC) que conforman el país, excluyendo el Área de Conservación Marina Cocos, ya que esta corresponde al Parque Nacional Isla del Coco y esta categoría de Áreas Silvestres Protegidas (ASP) se encuentra bajo una estricta vigilancia oficial, además de estar protegida por decretos nacionales.

Para la división de estas áreas se utilizó la capa de Áreas de Conservación, publicada en el SNIT por el Sistema Nacional de Áreas de Conservación, la Figura 2 muestra la división utilizada para el procesamiento de los datos.



**Figura 2. Mapa de división por Áreas de Conservación de Costa Rica utilizado para el procesamiento de la información**

La descripción de la zona de estudio se presenta como parte de la investigación inicial realizada. Esta información es fundamental para analizar los momentos de la realización de las giras de campo, la productividad en la zona y a futuro información de importancia para el análisis de las coberturas en función de los tipos de uso del suelo y las relaciones de pérdida y ganancia.

### a) Área de Conservación La Amista Pacífico (ACLAP)

El Área de Conservación la Amistad Pacífico cuenta con una extensión de 555.544,47 ha, abarcando la mayor parte de la Cordillera de Talamanca hasta la frontera con Panamá. Está conformada por siete cantones; sin embargo, el 94% del área, lo comprenden los cantones de Pérez Zeledón, Buenos Aires y Coto Brus. El otro 6% del área está cubierta por los cantones de Talamanca, Limón, Turrialba y Paraíso.

Según datos del Censo Nacional de Población y Vivienda (INEC, 2011), Pérez Zeledón cuenta con una población total de 134.534 habitantes, de los cuales un 33,8% (45.551 habitantes) de la población integra la fuerza de trabajo. Además, más de la mitad de la población del cantón reside en zona rural (51,9%).

Según (INEC, 2011), los cantones de Buenos Aires y Coto Brus cuentan con un total de 83.677 habitantes, incluyendo a la población indígena que alberga cinco grupos étnicos y nueve territorios indígenas, ocupando distintas áreas de su territorio. Además, es importante mencionar que en ambos cantones la mayoría de la población reside en zonas rurales con un 69,05% de la población y un 30,95% en la zona urbana.

Las principales actividades dentro del cantón de Pérez Zeledón se enfocan en el comercio, la agricultura, ganadería y pesca; en porcentajes menores está la enseñanza, la industria, la prestación de servicio a hogares y la construcción (INEC, 2011).

Por otro lado, el cantón contiene 8.059 fincas, con una extensión de 97.274,1 hectáreas, donde el 46,7% de las fincas se dedican a la actividad agrícola, principalmente a la producción de café, caña de azúcar y granos básicos; un 46,9% se dedican a la actividad pecuaria dentro de ellas la acuicultura, avicultura, ganado porcino y el ganado vacuno y el otro 6,4% a otras actividades como el turismo y

protección de los bosques, entre otras actividades. Es importante mencionar que 38.396 hectáreas del cantón son dedicadas al pastoreo (INEC, 2015).

En relación con las principales actividades productivas de los cantones de Buenos Aires y Coto Brus, por sus características climáticas y topográficas se enfocan en el cultivo de piña, la ganadería, el café, la caña de azúcar y el cultivo de granos básicos. Por otro lado, el cantón de Buenos Aires destina 58.469,2 hectáreas para trabajar en pastoreo, mientras que Coto Brus utiliza solamente 20.199,5 hectáreas para dicha actividad (INEC, 2015).

Dentro de ACLAP se localizan Áreas Silvestres Protegidas de gran importancia para el país como la Reserva Forestal los Santos, el Parque Internacional la Amistad, el Parque Nacional Chirripó, la Zona Protectora las Tablas, los refugios nacionales de vida silvestre Montaña del Tigre, Río General y Longo Mai; así como, los humedales de San Vito y Palustrino Laguna del Paraguas. Razón por la que es considerada una zona con gran diversidad de ecosistemas y variedad de micro hábitat.

#### **b) Área de Conservación Arenal Huetar Norte (ACAHN).**

Esta AC se encuentra en el norte del país, limitando con Nicaragua. Se extiende desde el río Las Haciendas en Upala hasta el río Sarapiquí en Sarapiquí (Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC), 2018).

En total, esta AC cuenta con 888.604,85 ha. Donde más del 93% se compone por los cantones de San Carlos, Sarapiquí, Upala, Los Chiles y Guatuso. Mientras que los otros cantones que componen un pequeño porcentaje del área (poco más del 6%) son Río Cuarto, San Ramón, Alajuela, Valverde Vega, Alfaro Ruíz y Tilarán.

Los principales cantones que conforman el Área de Conservación Arenal Huetar Norte tienen una cantidad total de 304.088 habitantes. A partir de esto se pueden estimar datos poblacionales del ACAHN. Un 50,4% de la población corresponde a hombres, mientras que el restante 49,6% son mujeres, mostrando una distribución casi equitativa. Por otro lado, la mayoría de la población habita en zonas rurales,

aproximadamente un 65,5%, mientras que solo el 34,5% se encuentran en áreas urbanas (INEC, 2011).

A nivel cultural, esta AC presenta características muy particulares, esto debido a factores como la población migrante, que ha marcado mucho la cultura de la zona, ya que se presentan tradiciones y costumbres traídas de Nicaragua; de igual manera, la población indígena Maleku, que se encuentra en el cantón de Guatuso, dando un carácter distintivo a esta zona; además, la distancia de esta AC entre el valle central, es otro de los factores que genera un impacto en su cultura (Zevallos, 2013).

Según el VI Censo Nacional Agropecuario (CENAGRO), más del 15% de las fincas se encuentra en el ACAHN (INEC, 2015). Las principales actividades agropecuarias de la zona están dedicadas a la ganadería y a cultivos de naranja, frijol, arroz, caña de azúcar, banano y piña. La piña es el principal producto de exportación junto con jugos y concentrados de fruta, yuca, cítricos y otros frutos congelados. Además, la construcción es otra actividad en esta zona que aporta al crecimiento de la población y la generación de empleo (Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica (MIDEPLAN), 2009), (MIDEPLAN, 2014). El uso para pastoreo en las fincas de esta Área de Conservación es muy importante ya que se encuentra el 27,5% de los pastos del país, esto corresponde aproximadamente a 287.804,2 hectáreas (INEC, 2015).

En esta Área de Conservación se protegen ecosistemas de gran importancia, como lo son el bosque húmedo, el bosque pluvial montano y los humedales, que son fuentes importantes de refugio y alimentación para la reproducción de especies silvestres. Además, se conservan recursos como los rasgos geomorfológicos (focos volcánicos activos e inactivos) y los recursos hídricos que son de importancia tanto para el consumo humano como para la producción de energía hidroeléctrica (SINAC, 2018).

### c) Área de Conservación Arenal Tempisque (ACAT).

Esta Área de Conservación tiene una extensión aproximada de 368.479,03 ha. Está ubicada en la parte norte-central de Costa Rica y políticamente se compone por 10 cantones. El 88% del área la cubren los cantones de Bagaces, Cañas, Tilarán y Abangares. Mientras que el otro porcentaje lo componen los cantones de San Ramón, Guatuso, Upala, Puntarenas, San Carlos y Montes de Oro.

A partir de los principales cantones que componen ACAT, se puede estimar que en esta área hay aproximadamente 83.416 habitantes, donde la cantidad de mujeres es ligeramente mayor a la de hombres con un 50,2% y 49,8% respectivamente. Además, es importante mencionar que la mayoría de las personas en esta AC habitan en una zona urbana (54,5%) (INEC, 2011).

Las zonas de vida predominantes son el bosque seco tropical y el bosque húmedo pre montano bajo. Las precipitaciones abarcan desde los 1.400 mm/año (en las zonas más secas) hasta los 4.500 mm/año (en las zonas de mayor humedad). Por otro lado, las temperaturas promedio oscilan entre los 17,11 °C - 27,02 °C (Instituto de Desarrollo Rural (Inder), 2015).

Los volcanes Miravalles y Tenorio se encuentran en esta AC, así como el Embalse Arenal que es la principal fuente para generar energía del país. Además, se encuentran ASP con diferentes categorías de manejo, entre la más importante se puede destacar el Parque Nacional Palo Verde. Este parque fue declarado como sitio Ramsar y alberga parte del Humedal Palo Verde, uno de los más importantes de Centroamérica (Murillo & Miranda, 2018).

Entre las actividades económicas de la zona, podemos encontrar la producción agropecuaria. Algunos de los cultivos predominantes son: granos básicos, caña de azúcar, hortalizas y café (Instituto de Desarrollo Rural (Inder), 2015).

Otra de las actividades agropecuarias de gran importancia para esta AC es la ganadería. Aproximadamente 107.531 ha son destinadas para este fin, lo que

corresponde aproximadamente a un 30% del Área de Conservación Arenal Tempisque (INEC, 2015).

#### **d) Área de Conservación Central (ACC).**

Esta Área de Conservación tiene una extensión de 869.108,14 ha. Se encuentra en el centro del país, la conforman parte de las provincias de San José, Alajuela, Cartago y Heredia. Se compone por 50 cantones, de los cuales Turrialba es el que abarca la mayor cantidad de área con más de 15% del total.

Más del 60% de la población del país se encuentra en esta zona. A nivel de infraestructura educativa es de gran importancia para el país, ya que concentra la mayor cantidad de centros educativos y es la sede de las cinco universidades públicas del país: Tecnológico de Costa Rica (TEC), Universidad de Costa Rica (UCR), Universidad Nacional (UNA), Universidad Estatal a Distancia (UNED) y la Universidad Técnica Nacional (UTN) (MIDEPLAN, 2009).

En esta AC se resguardan aproximadamente 25 Áreas Silvestres Protegidas, lo que genera un impacto ambiental positivo en la zona. Además, la actividad turística tiene un gran potencial ya que se encuentran Parques Nacionales que son muy visitados tanto por turistas nacionales como extranjeros; entre estos se pueden destacar los Parques Nacionales Tapantí-Macizo Cerro de la Muerte, Braulio Carrillo, Volcán Irazú, Volcán Turrialba, Volcán Poás, entre otros. Las principales actividades económicas en el Área de Conservación Central están relacionadas al comercio, servicios de administración pública y la industria manufacturera (MIDEPLAN, 2014).

Hay aproximadamente 137.778,6 hectáreas cuyo uso es dedicado a la actividad ganadera en esta Área de Conservación. Esta actividad se concentra en unos pocos cantones, de manera que casi el 60% de los pastos del AC están en Alajuela, Puriscal, Turrialba, San Ramón y Turrubares.

#### **e) Área de Conservación Guanacaste (ACG)**

Esta Área de Conservación tiene una extensión aproximada de 293.341,10 ha y está conformada políticamente por 3 cantones. Liberia y La Cruz se encuentran en

su totalidad dentro de esta AC y abarcan el 96,6% del área, mientras que el otro 3,4% corresponde a una pequeña parte del cantón de Upala.

La población en esta AC está conformada por aproximadamente 82.168 personas. La mayoría habitan en una zona considera como urbana (más del 70%). Además, cabe destacar que la relación entre cantidad de hombres y mujeres está repartida de manera casi equitativa (INEC, 2011).

Los aspectos biofísicos y climáticos tienen un impacto de gran importancia en un territorio, de manera que afecta tanto la biodiversidad presente como las actividades humanas. Esta AC está dominada por cuatro zonas de vida que corresponden a: bosque húmedo premontano, bosque húmedo tropical, bosque seco tropical y bosque muy húmedo premontano. Estos diversos ecosistemas son resguardados por las Áreas Silvestres Protegidas, en las cuales podemos destacar el Parque Nacional Guanacaste, el Refugio Nacional de Vida Silvestre Bahía Junquillal, el Parque Nacional Rincón de la Vieja - Sector Santa María y el Parque Nacional Santa Rosa. Además, culturalmente es una de las áreas de mayor importancia en el país, ya que se encuentra la casona, lugar que fue el escenario de la que es considerada la mayor gesta heroica nacional (Inder, 2014).

Las actividades productivas del Área de Conservación Guanacaste se basan en la agricultura, la ganadería y el turismo, también se encuentra el sector de bienes y servicios en los grandes centros poblacionales (Inder, 2015).

Según el CENAGRO 2014, existen 47.819,2 hectáreas cubiertas por pastos para el desarrollo de la actividad ganadera del país (INEC, 2015).

#### **f) Área de Conservación La Amistad Caribe (ACLAC).**

El Área de Conservación La Amistad Caribe cuenta con una extensión de 609.089,09 hectáreas. Los cantones que abarcan esta área corresponden a: Talamanca, Limón, Siquirres, Matina y una pequeña parte del cantón de Turrialba.

Esta AC alberga Áreas Silvestres Protegidas de diferentes categorías de manejo, como Parques Nacionales, Reservas Forestales, Zonas protectoras, Reservas Biológicas y Refugios Nacionales de Vida Silvestre. Costa Rica a nivel mundial destaca por su desempeño en la protección de la biodiversidad, el Área de Conservación La Amistad Caribe es un ejemplo de ello, ya que posee sitios que han sido catalogados como valor incalculable para la humanidad, como lo es el Parque Internacional La Amistad, este parque sirve de núcleo para la Reserva de la Biosfera La Amistad, esta Reserva posee una amplia cobertura boscosa que permite la producción de agua, biodiversidad y otros servicios ambientales de vital importancia para el sureste de Costa Rica y noroeste de Panamá (SINAC, 2012). Además, el Refugio Nacional de Vida Silvestre Gandoca – Manzanillo fue declarado como Humedal de Importancia Internacional (sitio RAMSAR), en este Refugio se pueden encontrar especies amenazadas de flora y fauna, además de diversos ecosistemas prioritarios para la conservación (Instituto Nacional de Biodiversidad (INBio), 2012).

La economía de esta AC está basada en la agricultura, ganadería, sector industrial y turismo. Entre los principales cultivos de importancia en la zona se encuentra el banano, tanto para consumo nacional como para exportación. El cantón de Limón funciona como uno de los centros navieros y de contenedores más importantes de América Latina y el Caribe (Garita & Pardo, 2017).

Respecto a la actividad ganadera del Área de Conservación La Amistad Caribe, se estima que 35.022,10 hectáreas están ocupadas con pastos. Donde casi el 50% se encuentra en el cantón de Siquirres, ya que en este cantón predomina dicha actividad agropecuaria (INEC, 2015), (Inder, 2015).

#### **g) Área de Conservación Osa (ACOSA).**

El territorio de esta AC se encuentra ubicado al suroeste del país y comprende tres cantones: Osa, Golfito y Corredores, con un total de 430.725,20 ha.

A partir de los cantones que conforman esta AC es posible estimar la población que habita en la zona. Cuenta con aproximadamente 110.414 personas. Poco más de la mitad (53,8%) viven en una zona catalogada como rural. Además, cabe

mencionar que entre estas personas se encuentra una cantidad aproximada de 5.753 indígenas, siendo el cantón de Corredores el que alberga la mayor cantidad. La población Nögbé o Guaymí es la que tiene más presencia en el territorio (INEC, 2011).

Más del 30% de este territorio corresponde a Áreas Silvestres Protegidas, las tres de mayor extensión respectivamente son: la Reserva Forestal Golfo Dulce, el Parque Nacional Corcovado y el humedal Térraba – Sierpe. El Parque Nacional Corcovado presenta un gran impacto ambiental y económico en la zona, ya que este está posicionado a nivel internacional debido a que se considera uno de los lugares con mayor biodiversidad en el mundo, lo que genera un gran atractivo turístico; casi el 90% de los visitantes de este parque son extranjeros (SINAC, 2014).

Las actividades agropecuarias son los medios de vida productivos de mayor importancia para el Área de Conservación Osa. La ganadería es una de estas actividades; más de 33.000 ha están dedicadas a este fin. Además, entre los cultivos de la zona, la palma aceitera es la que ocupa una mayor cantidad de área con aproximadamente 45.000 ha. Otros cultivos relevantes para este territorio son el arroz, plátano y rambután (mamón chino) (Inder, 2014) (INEC, 2015).

#### **h) Área de Conservación Pacífico Central (ACOPAC).**

Esta Área de Conservación está ubicada en la parte central occidental del país. Los cantones que la conforman son: Quepos, Parrita, Garabito, Montes de Oro, Esparza, Orotina y San Mateo. Además, una parte importante del cantón de Puntarenas también se encuentra en esta AC. Para un total de 277.305,12 ha.

Las Áreas Silvestres Protegidas abarcan poco territorio ya que son relativamente pequeñas. El Parque Nacional Carara es uno de los más importantes con un área de 2.400 ha. Además, se encuentran Humedales, Zonas Protectoras y varios Refugios Nacionales de Vida Silvestre.

Este territorio presenta una gran biodiversidad, esto debido a que el clima y el relieve es muy variado. En esta AC se puede encontrar hasta el 60% de las especies de

flora reportadas en el país y más del 70% de los mamíferos, aves y lepidópteros (MIDEPLAN, 2014).

Las principales actividades productivas de esta zona corresponden a actividades agropecuarias, de industria, servicios y comercios. Entre los cultivos de importancia para la economía de esta AC se pueden encontrar frutales como mango, aguacate, sandía y melón (Inder, 2015). Además, la cantidad de pastos es de aproximadamente 47.428 ha, donde se llevan a cabo actividades ganaderas (INEC, 2015).

#### **i) Área de Conservación Tempisque (ACT).**

El Área de Conservación Tempisque se encuentra en la parte noroeste del país. Tiene un área de 520.914,73 ha y la componen los cantones Carrillo, Santa Cruz, Nicoya, Hojancha, Nandayure y parte del cantón de Puntarenas.

En esta AC se encuentran ASP de importancia para el país, como lo son la Península de Nicoya (Zona Protectora), los Parques Nacionales Diriyá, Barra Honda y Marino las Baulas. Este último PN lleva su nombre debido a que alberga playas que son utilizadas para el anidamiento de las tortugas baulas. Esta especie de tortuga es la más grande del mundo y se encuentra en peligro de extinción, lo que genera un gran atractivo para la conservación y el turismo en la zona.

El sector productivo del Área de Conservación Tempisque está orientado a la agricultura, ganadería y pesca. Por otro lado, en las cabeceras de cantón, las actividades inmobiliarias y empresariales han presentado un crecimiento importante. En las actividades agrícolas de la zona destacan los cultivos de arroz, café, forestales, granos básicos, melón y sandía. Además, el turismo es una actividad que no se puede dejar de lado en esta AC, ya que las playas poseen un amplio potencial, generando atracción para turistas tanto nacionales como extranjeros (Inder, 2016).

A partir de datos del Censo Agropecuario 2014, se puede estimar que en esta AC hay más de 108.228,9 ha dedicadas a pasturas (INEC, 2015).

## **j) Área de Conservación Tortuguero (ACTo).**

Esta AC tiene un territorio de 301.532,64 ha y se encuentra ubicada en el noreste de Costa Rica. La conforman la mayor parte de los cantones de Pococí y Guácimo, además de una pequeña parte del cantón de Sarapiquí.

Gran parte de esta Área de Conservación se encuentra cubierta por Áreas Silvestres Protegidas. La que ocupa la mayor área es el Refugio Nacional de Vida Silvestre Barra del Colorado con más de 81.000 ha. En esta ASP se pueden encontrar diversos ecosistemas, como lo son las áreas costeras, pantanos herbáceos, bosques inundados, entre otros. La alta precipitación durante casi todo el año convierte a esta zona en una de las áreas con mayor biodiversidad biológica en la Región Caribe costarricense (SINAC, 2017).

El Parque Nacional Tortuguero, también se encuentra en esta AC. Este parque es uno de los principales a nivel turístico, ya que tanto a nivel nacional como internacional destaca debido a sus singulares canales, la observación del desove de tortugas y su belleza escénica (SINAC, 2014).

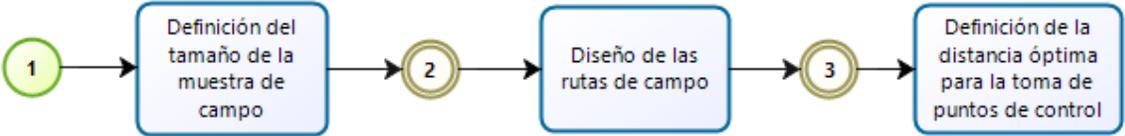
Los cantones de Pococí y Guácimo abarcan la mayor parte del Área de Conservación Tortuguero. La producción agropecuaria es la actividad económica que predomina en estos cantones, con excepción del distrito de Guápiles, que como cabecera su economía se basa en servicios y comercio (Inder, 2014).

Entre los principales cultivos que se trabajan en el AC se puede mencionar la piña, el banano, plátano, raíces y tubérculos. Por otro lado, la actividad ganadera que también presenta un impacto en la zona, ocupa un área de aproximadamente 49.000 ha (INEC, 2015).

### 4.3 Planificación de toma de puntos de control y validación

Las giras de campo que se llevan a cabo durante la ejecución del proyecto son de gran importancia para tener información exacta de la cobertura y uso del suelo relacionado al paisaje productivo de pastos sin árboles, sujeto de estudio. Esto permite realizar una mejor interpretación de las imágenes satelitales durante el proceso de creación de las capas vectoriales del cultivo de pastos sin árboles. Por esto, para una correcta ejecución de las giras de campo, es esencial que se lleve a cabo una buena y detallada planificación previa.

La metodología para la planificación de las giras de campo se continuó según lo planteado en el Informe I del plan piloto del proyecto (ACLAP). En esta fase de planificación se delimitan las zonas a visitar, las rutas a seguir, la cantidad de puntos a tomar y la frecuencia de la medición. En la Figura 3 se muestra un diagrama de la metodología utilizada para la planificación y muestreo en las giras de campo del proyecto MOCUPP, para la capa de pastos sin árboles de Costa Rica.



**Figura 3. Metodología para la toma de puntos de control y validación, proyecto MOCUPP, pastos sin árboles de Costa Rica.**

#### 4.3.1 Definición del tamaño de la muestra de campo.

La cantidad de puntos que se toman en las giras de campo debe ser una muestra representativa de la zona de estudio, tomando en cuenta los parámetros de interés a desarrollar en el proyecto.

De acuerdo con Chuvieco (2010), 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 de puntos de campo se utilizó la fórmula que se utiliza para validación, con ello se estima un valor de puntos necesarios a coleccionar en campo y se multiplica por dos para maximizar el aprovechamiento de las giras de campo. La fórmula está dada por:

$$n = \frac{z^2 pq}{L^2}$$

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)x100)

L: El nivel permitido de errores

El cálculo del tamaño de la muestra se realizó para cada Área de Conservación, 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 de pastos sin árboles presentes en cada AC, la cual se obtuvo a partir de una estimación de datos presentes en el CENAGRO 2014 (INEC, 2015). Por último L se definió con un error permitido de un 5%.

En el Cuadro 3 se muestra la cantidad estimada de pastos (en hectáreas y porcentaje), el tamaño de la muestra y el total de puntos para cada AC.

**Cuadro 3. Cálculo del tamaño de la muestra de pastos para cada Área de Conservación, proyecto MOCUPP, pastos sin árboles de Costa Rica.**

Área de Conservación	Hectáreas	Porcentaje de hectáreas (%)	Tamaño de la muestra (n)	Total de puntos
<b>ACLAP</b>	60 000	18,46	231	463
<b>ACAHN</b>	60 000	18,46	231	463
<b>ACAT</b>	50 000	15,38	200	400
<b>ACC</b>	5 000	1,54	23	47
<b>ACG</b>	30 000	9,23	129	258
<b>ACLAC</b>	5 000	1,54	23	47
<b>ACOSA</b>	5 000	1,54	23	47
<b>ACOPAC</b>	20 000	6,15	89	47
<b>ACT</b>	50 000	15,38	200	400
<b>ACTo</b>	40 000	12,31	166	332
<b>Total</b>	<b>325 000</b>	<b>100</b>	<b>1316</b>	<b>2632</b>

Debido a que los puntos de campo se deben separar, unos para la fase de clasificación y otros para validación, se tomó la decisión de duplicar el valor del tamaño de la muestra. Por lo que en el Cuadro 3 el total de puntos que se indican, corresponde a la cantidad mínima necesaria para el muestreo y validación en cada AC, esto relacionado al uso de pastos sin árboles.

#### **4.3.2 Diseño de las rutas de campo.**

Para el diseño de las rutas de campo, durante la planificación, se trazaron rutas a nivel de Área de Conservación. Las mismas fueron diseñadas de manera que se recorriera la mayor cantidad de área en una gira, pasando por las coberturas y usos de interés, en este caso los cultivos de pastos sin árboles.

Para el trazado de las rutas se utilizó la aplicación My Maps, esta herramienta tiene una opción llamada “Añadir indicaciones”, de esta manera se puede indicar un punto de inicio y un punto de finalización en un trayecto. Como es de esperar en una aplicación utilizada para navegación, la ruta generada será la de menor duración; sin embargo, para el proyecto en cuestión lo importante son las coberturas y usos del suelo que pueden estar presentes en las rutas, por lo que se modificó la ruta

para pasar por las zonas de interés. Como ayuda en esta planificación, se utilizó el mapa base de Google Maps para determinar la accesibilidad de los caminos; además, el mapa base que contiene imágenes de satélite permitió tener una idea de las coberturas y usos presentes en la zona; de igual manera en algunos casos se utilizó la aplicación de Google Earth para corroborar la información.

Una vez definidas las rutas en la aplicación My Maps, se exportaron en formato KML. De esta manera fue posible visualizarlas en QGIS y modificar detalles que My Maps no permite, como lo fue, enumerar las rutas por día y editar segmentos sobrantes que se generaron en esta aplicación. Además, la aplicación My Maps sólo permite pasar una ruta por un camino que exista en el mapa base de Google Maps, de esta forma, si se tiene conocimiento de un camino y su accesibilidad, esto se puede modificar en QGIS para obtener rutas adecuadas que respondan a los objetivos del proyecto.

La aplicación My Maps consiste en crear y editar mapas personalizados. Esto se lleva a cabo en el servicio de alojamiento de archivos Google Drive, por lo que es necesario una cuenta de Google para utilizarlo. Para el caso de pastos se creó la cuenta para tal objetivo: [pastossinarboles@gmail.com](mailto:pastossinarboles@gmail.com).

Además, igual que otros archivos que se crean en Google Drive, estos mapas pueden ser compartidos con otras personas a partir de la cuenta de Google. Esta herramienta se aplica con los diferentes participantes de las giras de campo.

Esta aplicación se utilizó para facilitar el seguimiento de las rutas en campo. De esta manera, para cada gira se creó un mapa donde se cargó el Área de Conservación y las rutas planificadas. Al compartir esta información con las personas involucradas en la gira, estas pueden acceder a él desde la aplicación de Google Maps en sus dispositivos móviles, esto facilitó la movilización y el recorrido de las rutas en campo, ya que estos dispositivos tienen un GPS muy exacto.

#### **4.3.3 Definición de la distancia óptima para la toma de puntos de control.**

Se tomó la decisión de tomar los puntos a partir de una distancia específica al recorrer las rutas y no por el cambio de coberturas, esto para incluir el factor aleatorio en los datos y que estos no se vean alterados por la percepción del equipo técnico. Esta distancia óptima seleccionada correspondió a dos kilómetros sobre la carretera o camino transitable y se definió durante la etapa piloto del proyecto.

#### **4.4 Muestreo de puntos de control y validación.**

La recolección de los puntos en campo se realizó mediante un receptor de señales satelitales llamado Sistema de Posicionamiento Global (GPS por sus siglas en inglés), permitiendo un error de  $\pm 5$  metros.

En esta fase del proyecto se procedió a recorrer en campo las rutas planificadas, tomando puntos cada dos kilómetros utilizando el odómetro del vehículo.

Para la recolección de puntos de control y validación, en el trabajo de campo se utilizó como referencia el camino o la calle tomando un solo punto (denominado punto central), con el GPS y anotando su cobertura y uso correspondiente en el formulario para datos de campo (Anexo 1). Este punto se clasificó como infraestructura si fue tomado directamente sobre la calle; o bien, si el sitio lo permitía, se ingresó a la cobertura cercana y se capturó el valor de la cobertura observada en el momento (distinto de infraestructura). El resto de puntos colectados fueron proyectados a partir de este punto central.

Para tener un orden adecuado en la toma de puntos de campo, se estableció anotar siempre en primer lugar las coberturas del lado derecho de la calle (según la dirección en la que se recorría la ruta en ese momento). De esta manera, se anotó la información de cobertura y uso del suelo a los 50, 100 y 150 metros del punto central, se obtuvo el azimut por medio de una brújula y se tomaron fotografías en esta dirección.

Al mismo tiempo, esta información también se recolectó para el lado izquierdo de la calle, por lo que las coberturas y usos correspondían al azimut contrario con una diferencia de 180°.

En la Figura 4 se ilustra la metodología descrita anteriormente para la obtención de los puntos de muestreo y validación del proyecto.



**Figura 4. Metodología para el muestreo de puntos de control y validación, proyecto MOCUPP, pastos sin árboles de Costa Rica.**

La información anotada en campo correspondió a la cobertura según la Clave para Clasificación de cobertura de la Tierra de SIMOCUTE (Centro Nacional de Información Geoambiental (CENIGA), 2018) (Anexo 2) y el uso, a partir de una adaptación del uso del suelo de FAO (Land use/cover classification) (Anexo 3) (FAO, 2012). Cada cobertura y uso tienen asociado un código, por lo que esta información fue la que se registró una vez tomado el punto.

Adicional a la captura de los puntos de GPS, para las zonas norte ACAHN y zona sur ACOSA, se implementó el uso del *drone* como un recurso adicional para los puntos de estas zonas, debido a que son las zonas que históricamente presentan más bancos de nubes visibles en las imágenes y que en los procesos de clasificación se convierten en las áreas con más ausencia de información para

clasificar. Para ello, se realizaron vuelos fotogramétricos a 120 m de altura, adquiriendo tres fotos oblicuas y una foto perpendicular con vista a ambos lados de la carretera alineados al borde de la calle. De manera que el punto de partida del vuelo coincide con el punto de muestreo en campo. Estos datos serán utilizados posteriormente en la etapa de validación o clasificación de las imágenes satelitales, como insumo adicional.

#### 4.4.1 Procesamiento de datos.

Para el procesamiento de los datos obtenidos en campo se realizaron los siguientes pasos:

##### a) Descarga de puntos

La descarga de los puntos del GPS se realizó por medio del programa *Garmin Base Camp*. De esta manera se obtiene la información de las coordenadas geográficas y la altura en metros sobre el nivel del mar de cada uno de los puntos centrales tomados en campo.

##### b) Digitar datos de campo

La información colectada en campo es digitada en una hoja de *Excel*, a partir de un formulario previamente diseñado (Anexo 4). Adicional a esta información se agrega una columna con el nombre del uso correspondiente al código asignado, según la clasificación de FAO. Mientras que en el caso de la cobertura esta queda asociada únicamente al código anotado en campo. Además, para el procesamiento de los datos es necesario que las coordenadas geográficas se encuentren en el sistema de proyección CRTM05 y que el azimut sea transformado a radianes.

##### c) Reproyectar puntos

Debido a que en campo únicamente se tomó el punto central con el GPS, es necesario reprojectar los puntos de las coberturas y usos que se anotaron a los 50, 100 y 150 metros del punto central. Para esto se utilizaron las siguientes fórmulas:

Coordenada X reprojectada:

$$X_{reproyectada} = SEN(a) \times d + X$$

Coordenada Y reproyectada:

$$Y_{reproyectada} = COS(a) \times d + Y$$

Donde:

a: azimut transformado a radianes.

d: la distancia correspondiente a la que se encuentra del punto central ya sea 50, 100 o 150 metros.

X: coordenada geográfica X del punto central.

Y: coordenada geográfica Y del punto central.

Una vez tabulada toda la información se procede a guardar el archivo como un CSV (delimitado por comas) (\*.csv). Este puede ser cargado al programa QGIS. Sólo se debe asegurar que, en las opciones de las coordenadas del punto en el momento de cargar el archivo, se seleccionen las coordenadas X y Y reproyectadas, para visualizar todos los puntos, permitiendo analizar la información y utilizarla como un insumo de gran importancia para el desarrollo del proyecto, ya que se cuenta con información real de la cobertura y el uso del suelo, además de las observaciones adicionales realizadas en campo.

#### 4.5 Tratamiento de imágenes

El pre-procesamiento de las imágenes satelitales es fundamental al trabajar con sensores remotos, de modo que se pueden identificar y corregir errores radiométricos, geométricos o bien atmosféricos, debido a la interacción de la columna de la atmósfera con el sensor.

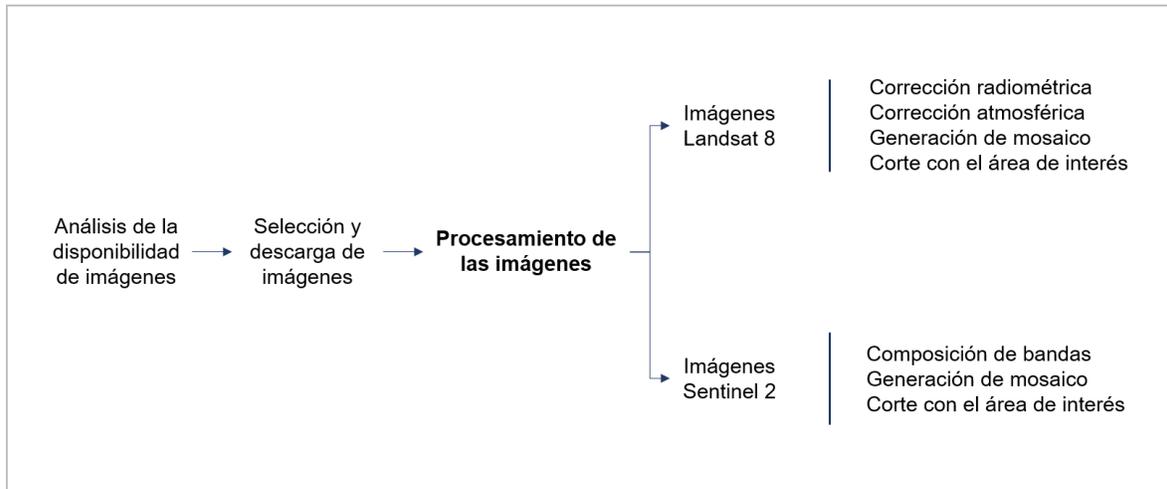
Para el tratamiento digital de la información de las imágenes satelitales se realizó un análisis de la disponibilidad de datos para los sensores Landsat 8 y Sentinel 2, de esta manera, se seleccionaron y descargaron las mejores imágenes para cada Área de Conservación.

Las imágenes Landsat 8 fueron sometidas a la corrección radiométrica y atmosférica. La corrección radiométrica se enfoca principalmente en la restauración de líneas y píxeles perdidos, lo que mejora la interpretación de imágenes, especialmente cuando se realiza análisis digital (Chuvioco, 2010). Mientras que la corrección atmosférica consiste en eliminar de la imagen los efectos de las condiciones atmosféricas.

Al realizar la descarga de imágenes satelitales, estas presentan errores inherentes debido a la interacción del sensor con la atmósfera y la superficie en estudio. Para las imágenes del sensor Landsat 8 el pre procesamiento consiste en realizar correcciones radiométricas y atmosféricas con el módulo FLASSH del software ENVI 5.5. Estos procesos se aplicaron y están descritos en el plan piloto del proyecto. Sin embargo, no se realizarán para la elaboración de la capa de pastos sin árboles a nivel país ya que se están utilizando únicamente las imágenes del sensor Sentinel 2, debido a que su resolución es mejor. De igual manera cabe destacar que si para un área en específico se agotan las opciones con Sentinel 2, se puede utilizar como recurso las imágenes Landsat 8, por lo que es importante tener claro cuál sería su tratamiento.

Por otro lado, el pre procesamiento de las imágenes Sentinel 2 consistió en realizar una combinación de bandas en el programa SNAP. Esta combinación permite obtener un solo archivo con las bandas deseadas y de esta manera procesar la imagen de diferentes formas (como la confección de mosaicos o cortes con un área específica). Para las imágenes del sensor Sentinel 2 se utilizaron las bandas del espectro visible: azul (2), verde (3) y rojo (4), de esta manera es posible ver la imagen en color natural. Además, se incluyó la banda del infrarrojo cercano (8).

En la Figura 5 se muestra el tratamiento que se realizó a las imágenes satelitales de los sensores Landsat 8 y Sentinel 2.



**Figura 5. Diagrama para el tratamiento de imágenes satelitales Landsat 8 y Sentinel 2.**

#### 4.5.1. Descarga de imágenes satelitales.

Para una misma zona del país es necesario tener la mejor imagen de cada mes para el año 2018, y así contar con información adicional a la que recurrir en caso de nubosidad o duda sobre la cobertura.

Esto indica que la cantidad de imágenes a manejar en el proyecto representa un volumen de datos muy grande, ya que para cubrir todo el país se requiere de al menos seis imágenes para el sensor Landsat 8, y 16 para el sensor Sentinel 2. Las imágenes del año 2018 descargadas para este último sensor requieren de 117 GB para ser almacenadas (esto en su estado crudo sin ningún tipo de procesamiento) y 220 GB cuando son pre procesadas para la combinación de bandas. Lo que implica un total de 337 GB de almacenamiento sólo en estos dos procesos. El centro de datos proporciona el espacio necesario para almacenar esta información y los productos obtenidos al realizar los tratamientos sobre las imágenes satelitales. Adicionalmente, el almacenar estos productos en el centro de datos implica un ahorro de tiempo y recursos, ya que se evita la duplicación de información, siendo esta compartida entre los diferentes paisajes productivos que engloba el proyecto MOCUPP.

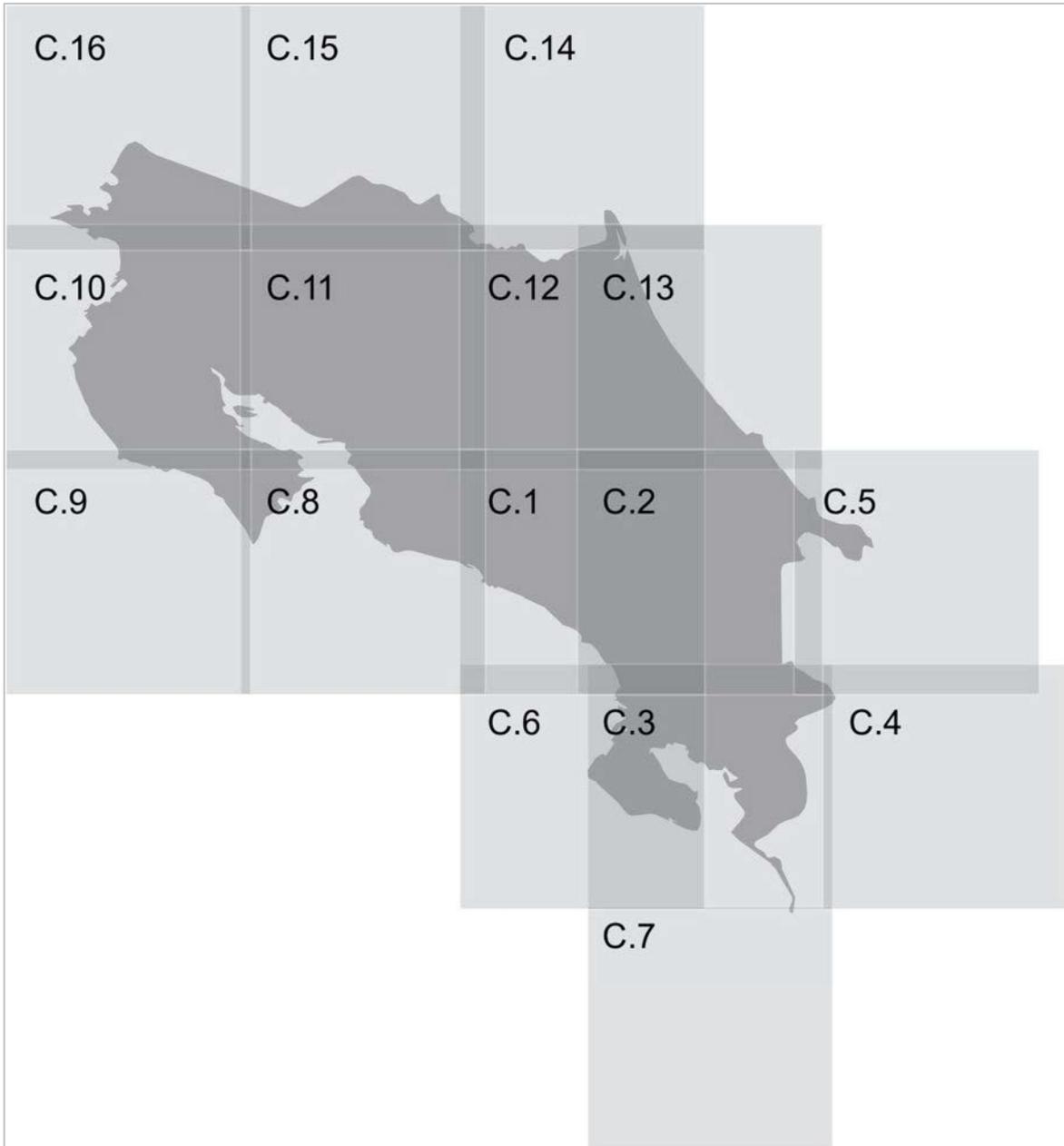
Para tener un mejor control al momento de manipular las imágenes se tomó la decisión de dividir el país en cuadrantes, esto a partir de la cantidad y la ubicación de las imágenes satelitales necesarias para cubrir todo el país. De esta manera, si se requiere buscar información de una zona específica del país, basta con relacionarla con el cuadrante al que corresponde y de esta manera ubicar la imagen en todo el conjunto de imágenes satelitales descargadas para el proyecto.

En la Figura 6 se muestra la distribución de cuadrantes en Costa Rica para las imágenes del sensor Landsat 8.



**Figura 6. Distribución de los cuadrantes en Costa Rica para las imágenes del sensor Landsat 8.**

La Figura 7 muestra los cuadrantes establecidos en el país para las imágenes del sensor Sentinel 2.



**Figura 7. Distribución de los cuadrantes en Costa Rica para las imágenes del sensor Sentinel 2.**

Las imágenes del sensor Landsat 8 se descargaron de las plataformas Earth Explorer y Glovis del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS por sus siglas en inglés). Este sensor incorpora dos instrumentos de barrido: el sensor Operational Land Imager (OLI) y un sensor térmico infrarrojo Thermal Infrared Sensor (TIRS). La incorporación de dos nuevas bandas espectrales, un canal profundo en el azul visible (banda 1), diseñado específicamente para los recursos hídricos e investigación en zonas costeras, y un nuevo canal infrarrojo (banda 9) para la detección de nubes cirrus. Adicionalmente una nueva banda de control de calidad se incluye con cada producto de datos generado. Esto proporciona información más detallada sobre la presencia de características tales como las nubes, agua y nieve.

En el Cuadro 4 se describen algunas características de este sensor, mientras que en el Cuadro 5 se presenta su distribución de bandas (United States Geological Survey , 2013).

**Cuadro 4. Características y especificaciones del sensor Landsat.**

<b>Característica</b>	<b>Especificaciones</b>
<b>Tamaño de píxel</b>	Bandas OLI multiespectrales 1-7,9: 30-metros Banda OLI pancromática 8: 15-metros Bandas TIRS 10-11: tomadas en 100 metros, pero remuestreadas a 30 metros para que coincida con las bandas multiespectrales de OLI
<b>Información de los datos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Formato de datos GeoTIFF</li> <li>• Remuestreo por convolución cúbica (CC)</li> <li>• Norte arriba (MAP) de orientación</li> <li>• Proyección cartográfica: Universal Transversal Mercator (UTM) (estereográfica polar de la Antártida)</li> <li>• Datum al Sistema Geodésico Mundial (WGS) 84</li> <li>• 12 metros de error circular, 90% de confianza exactitud global para OLI</li> <li>• 41 metros de error circular, 90% de confianza exactitud global para TIRS</li> <li>• Los valores de píxel en 16 bits</li> </ul>
<b>Entrega de datos</b>	Archivo comprimido .Tar.gz y de descarga a través de HTTP
<b>Tamaño de archivo</b>	Aproximadamente 1 GB (comprimido), aproximadamente 2 GB (sin comprimir)

Fuente: (United States Geological Survey , 2013).

**Cuadro 5. Distribución de bandas del sensor Landsat 8.**

<b>Banda</b>	<b>Longitud de onda (micrómetros)</b>	<b>Resolución (metros)</b>
<b>Banda 1 - Aerosol costero</b>	0,43 – 0,45	30
<b>Banda 2 - Azul</b>	0,45 – 0,51	30
<b>Banda 3 - Verde</b>	0,53 – 0,59	30
<b>Banda 4 - Rojo</b>	0,64 – 0,67	30
<b>Banda5 – Infrarrojo cercano (NIR)</b>	0,85 – 0,88	30
<b>Banda 6 - SWIR 1</b>	1,57 – 1,65	30
<b>Banda 7 - SWIR 2</b>	2,11 – 2,29	30
<b>Banda 8 - Pancromático</b>	0,50 – 0,68	15
<b>Banda 9 - Cirrus</b>	1,36 – 1,38	30
<b>*Banda 10 – Infrarrojo térmico (TIRS)</b>	10,60 – 11,19	100
<b>*Banda 11 - Infrarrojo térmico (TIRS) 2</b>	11,50 – 12,51	100

Fuente: (United States Geological Survey , 2013).

Por otro lado, para Sentinel 2 se recurrió a la página de Copernicus de la Agencia Espacial Europea (ESA por sus siglas en inglés). Esta misión se compone de 2 satélites, el Sentinel 2A y Sentinel 2B. La altura en órbita es 786 km, tiene un periodo de revisita de 5 días y la resolución de sus bandas está entre 10 y 60 metros. Este sensor posee una cámara multiespectral de alta resolución que se basa en las misiones SPOT y Landsat. Posee 13 bandas espectrales que aportan una nueva perspectiva de la superficie terrestre y de la vegetación, permitiendo proporcionar información útil en temas de prácticas agrícolas y forestales (European Space Agency (ESA), 2015).

En el Cuadro 6 se muestra la distribución de las bandas de las imágenes Sentinel 2, identificando el número de banda con su respectivo nombre, la longitud de onda en nanómetros y la resolución de la banda en metros.

**Cuadro 6. Distribución de bandas del sensor Sentinel 2.**

Banda	Longitud de onda (nm)	Resolución (m)
<b>B1 - Aerosol costero</b>	443	60
<b>B2 - Azul</b>	490	10
<b>B3 - Verde</b>	560	10
<b>B4 - Rojo</b>	665	10
<b>B5 - Infrarrojo cercano (NIR)</b>	705	20
<b>B6 - Infrarrojo cercano (NIR)</b>	740	20
<b>B7 - Infrarrojo cercano (NIR)</b>	783	20
<b>B8 - Infrarrojo cercano (NIR)</b>	842	10
<b>B8A - Infrarrojo cercano (NIR)</b>	865	20
<b>B9 - Vapor de agua</b>	945	60
<b>B10 - Cirrus (SWIR)</b>	1375	60
<b>B11 - Infrarrojo lejano (SWIR)</b>	1610	20
<b>B12 - Infrarrojo lejano (SWIR)</b>	2190	20

Fuente: (European Space Agency (ESA), 2015).

El manual para la descarga de imágenes de ambos sensores se adjunta en el documento llamado “Descarga Landsat 8 y Sentinel 2”.

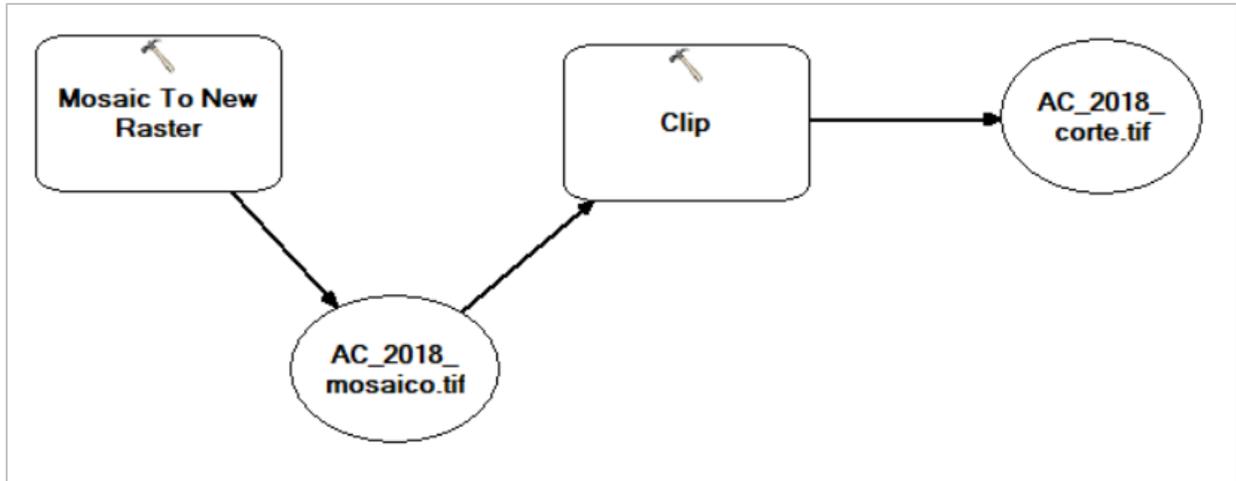
#### **4.5.2. Procesamiento de imágenes satelitales.**

Debido a la gran cantidad de imágenes que se descargaron para el proyecto, se desarrolló un script para facilitar el pre procesamiento en las imágenes. El manual para ejecutar este script se adjunta en el documento llamado “Band\_union\_script\_tutorial”.

Para continuar con el procesamiento de las imágenes se utilizó el programa ArcGIS 10.6.1, donde se obtuvo como resultado final un recorte para cada Área de Conservación a partir de las mejores imágenes. Para conocer a detalle el procesamiento de las imágenes tanto para Landsat 8 como para Sentinel 2, se adjunta el manual denominado “Procesamiento Landsat 8 y Sentinel 2”.

Los procesos mencionados que son necesarios realizar a las imágenes satelitales, suelen repetirse muchas veces, no sólo para todas las AC, si no que para una misma área hay que hacer varias pruebas para encontrar el mejor resultado a partir de las imágenes utilizadas (ya que cada cuadrante tiene la mejor imagen de cada mes del año 2018). Por esto, se creó el modelo cartográfico que se muestra en la Figura 8,

simplificando los procesos de realizar un mosaico y un corte a un conjunto de imágenes satelitales.



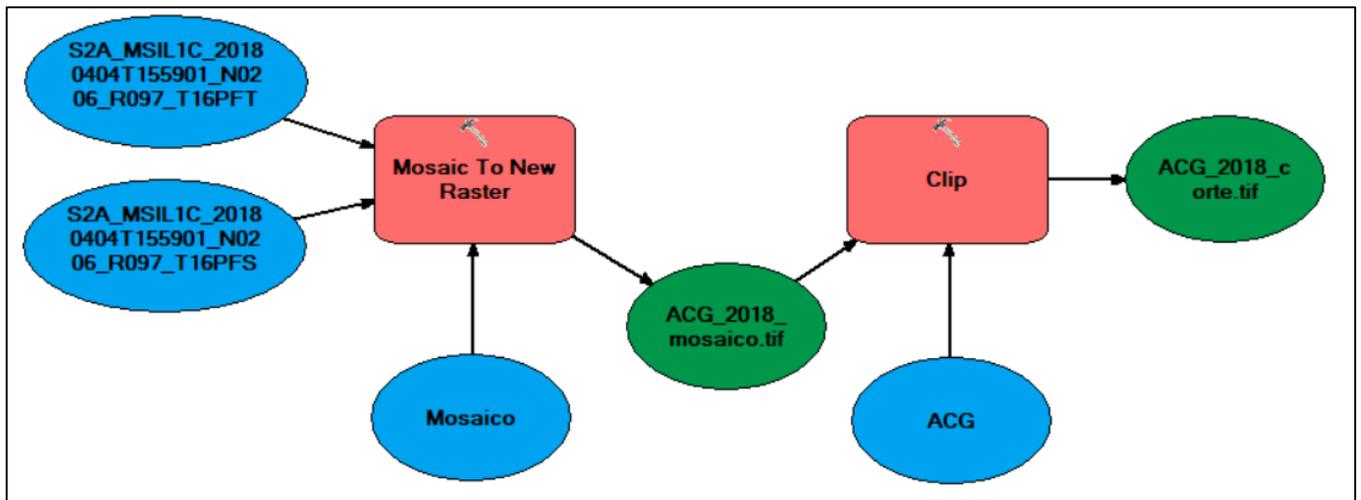
**Figura 8. Modelo cartográfico para automatizar el mosaico y corte de las imágenes satelitales.**

Para utilizar el modelo es necesario cargar en ArcGIS las imágenes satelitales que se van a unir y el área de interés (en este caso cada Área de Conservación).

Para acceder al modelo sólo se debe buscar el mismo en el catálogo de datos del programa, dar click derecho y seleccionar la opción “edit...”, de esta manera se despliega el modelo como se muestra en la Figura 8. En la herramienta “Mosaic To New Raster” se introducen las imágenes que abarcan el área (el modelo está programado para que la primera imagen que se seleccione sea prioritaria en las zonas de traslape de la imagen). Luego en la opción “Output Location” se elige la carpeta donde se guardará el resultado, mientras que el nombre y la extensión se indican en la opción “Raster Dataset Name with Extension”.

La herramienta “Clip” realizará un corte del mosaico, esto a partir de un área de interés. Para ello, en la opción “Output Extent” se selecciona el archivo shape del Área de Conservación con que se esté trabajando, luego en la opción “Output Raster Dataset” se elige donde guardar el corte, se le da un nombre y extensión. Además, es necesario activar la opción “Use Input Features for Clipping Geometry”.

Por último para ejecutar el modelo se da click en la opción “Run” . En la Figura 9 se presenta un ejemplo al utilizar el modelo en el Área de Conservación Guanacaste.



**Figura 9. Modelo cartográfico para automatizar el mosaico y corte de las imágenes satelitales correspondientes al Área de Conservación Guanacaste.**

Los dos modelos cartográficos mostrados anteriormente se adjuntan en el Toolbox de ArcGIS llamado “Modelos”.

#### 4.6 Segmentación de imágenes satelitales

A partir de las pruebas realizadas en el piloto del proyecto (ACLAP), se determinó que la metodología más adecuada es la segmentación de imágenes satelitales. Este método consiste en el análisis de imágenes orientado a objetos, de manera que la imagen es dividida en regiones u objetos que luego pueden ser clasificados con base a sus atributos espectrales y relaciones espaciales (Liu, Guo, & Kelly, 2008).

Para realizar la segmentación se contó con el software Berkeley Image Seg Wizard. Este software trabaja con los siguientes 3 parámetros:

- Umbral: define el tamaño relativo de los segmentos a crear.

- Forma: permite definir si se prefieren formas redondeadas (valores altos) o formas alargadas (valores bajos).
- Compacidad: que establece si la segmentación tendrá bordes suavizados (valores altos) o bordes dentados (valores bajos).

Durante el piloto del proyecto se realizaron pruebas con las siguientes combinaciones:

- a) 80\_0,2\_0,8
- b) 100\_0,6\_0,2
- c) 140\_0,2\_0,2
- d) 140\_0,2\_0,8
- e) 140\_0,6\_0,2
- f) 200\_0,5\_0,5
- g) 200\_0,9\_0,9

Donde los valores corresponden al umbral, la forma y la compacidad respectivamente.

Las pruebas se enfocaron en analizar la segmentación que generara mejores resultados para el uso de pastos sin árboles. De manera que se utilizaron puntos de control tomados en campo.

Con ellos se analizó polígono por polígono todas las combinaciones ejecutadas para un total de 30 puntos de control evaluados, asignando a cada uno una categoría (deficiente, malo, regular y bueno) según su calidad y semejanza con la realidad.

Con esta información se generó la matriz que se muestra en el Cuadro 7, donde se pudo identificar cuál de las combinaciones presentó los mejores resultados y con ello se seleccionaron los parámetros a utilizar.

**Cuadro 7. Pruebas de segmentación para 7 combinaciones diferentes a partir del software Berkeley Image Seg Wizard.**

Puntos de control/Combinación	a	b	c	d	e	f	g
1	R	R	M	R	B	D	D
2	D	D	D	D	D	D	D
3	D	B	D	D	B	D	D
4	D	D	D	D	D	D	D
5	D	D	D	D	D	D	D
6	D	D	D	D	D	D	D
7	D	B	D	D	B	D	D
8	B	D	D	D	D	D	D
9	D	D	D	D	D	D	D
10	D	D	D	D	D	D	D
11	R	B	M	R	D	D	D
12	D	D	D	D	D	D	D
13	B	M	B	R	M	D	D
14	D	D	D	D	D	D	D
15	D	D	D	D	D	D	D
16	D	D	D	D	D	D	D
17	B	B	R	R	R	M	D
18	R	R	M	B	M	D	D
19	B	M	R	R	M	D	D
20	B	M	R	B	D	D	D
21	B	B	R	B	B	B	D
22	D	D	M	D	D	D	D
23	D	B	R	B	R	R	D
24	B	B	M	B	R	R	D
25	M	R	M	M	R	M	D
26	B	B	B	B	B	R	R
27	B	B	R	R	R	D	D
28	B	B	B	B	B	R	M
29	B	B	B	B	B	R	M
30	B	B	B	B	B	R	M

D = Deficiente, M = Malo, R = Regular, B = Bueno.

<p style="text-align: center;">INFORME I PAISAJE PRODUCTIVO DE PASTOS SIN ÁRBOLES PARA EL AÑO 2018 EN COSTA RICA</p>	Informe N° 1
	Cultivo: Pastos productivos
	Fecha: 14/10/2019
	<b>Página 47 de 86</b>

A partir de los puntos de control analizados se determinó que la combinación con un umbral de 100, forma de 0,6 y compacidad de 0,2 era el más adecuado. Por lo que se procedió a segmentar el área piloto (ACLAP) y a codificar los segmentos.

Sin embargo, durante el proceso de codificación de los segmentos se evidenció que era necesario editarlos, debido a que el tamaño era muy grande y confundía muchas coberturas, principalmente en áreas muy heterogéneas.

Para solventar este problema se realizaron más pruebas modificando únicamente el valor del umbral, ya que se identificó que este parámetro es el más importante a partir de las primeras pruebas de segmentación realizadas en el plan piloto. Los nuevos valores de umbral probados fueron de 70, 50, 40 y 30.

De manera que la combinación seleccionada para continuar con la elaboración de la capa de pastos sin árboles a nivel país correspondió a un umbral de 50, en los resultados se muestran las comparaciones realizadas y los tiempos y aspectos que permitieron la selección de dicho valor como el mejor.

Con el fin de automatizar procesos en la metodología del proyecto, se desarrolló un script para la segmentación. El manual para la ejecución del mismo se adjunta con el nombre “Segmentación y aplicación del complemento LCCS3”.

#### **4.7 Clasificación y codificación de segmentos**

Para facilitar la clasificación y codificación de los segmentos, se utilizó la versión 3 del software Land Cover Classification System (LCCS3) (FAO, 2016). Este software permite crear una leyenda de categorías de uso del suelo, cada categoría es nombrada y se permite establecer sus características.

Dicha leyenda puede ser cargada en el programa QGIS a partir del complemento LCCS3 Basic Coder. De esta manera, el proceso de asignar las clases de uso del suelo a cada polígono se vuelve mucho más sencilla. En el Cuadro 8 se muestra la leyenda creada para el proyecto.

**Cuadro 8. Leyenda para clases de usos del suelo a partir del software Land Cover Classification System.**

Nombre de la clase	Descripción	Código
<b>Bosque</b>	Terrenos cubiertos de bosque	101
<b>Plantación forestal</b>	Cultivo de árboles maderables	102
<b>Pasto arbolado</b>	Potreros con árboles (10-30%)	201
<b>Pasto sin árboles</b>	Potreros limpios	301
<b>Cultivos</b>	Cultivo de alimentos	302
<b>Playas y arenas</b>	Terrenos cubiertos por arena y piedra	303
<b>Infraestructura</b>	Áreas de construcción	304
<b>Otros tipos de pastos</b>	Pastos naturales (sabanas) y pastos con mucha cobertura vegetal	305
<b>Aguas continentales</b>	Cuerpos de agua	401
<b>Reclasificar</b>	Áreas a revisar con insumos adicionales	501
<b>Nubes</b>	Áreas de nubes	601
<b>Sombra de nubes</b>	Áreas de sombras de nubes	602
<b>Desconocido</b>	No cumple ninguna de las anteriores	701

La descripción a detalle para la elaboración de la leyenda y el proceso de codificación de los segmentos se adjunta en el documento llamado “Segmentación y aplicación del complemento LCCS3”.

Al momento de clasificar la segmentación con el complemento LCCS3 se decidió realizar un corte del shape a partir de información adicional ya existente. Por ejemplo, la capa de piña y la capa de Áreas Silvestres Protegidas (ASP) son extraídas y permanecen hasta el final del proceso de clasificación, sobre ellas sólo se ejecuta una revisión y extracción de áreas de pastos sin árboles para incorporar a la base general. Esto para disminuir la cantidad de polígonos a clasificar. De esta manera se simplifica el trabajo en áreas en las que predomina la cobertura forestal, y al mismo tiempo se asegura no dejar por fuera áreas de pastos sin árboles que se podrían encontrar en estas zonas.

Para automatizar este proceso se creó el modelo cartográfico que se muestra en la Figura 9. Las capas que se muestran en color celeste en el modelo (y que es necesario visualizar en el programa ArcGIS) son las Áreas Silvestres Protegidas del país y la capa de piña del año 2017 elaborada por el Laboratorio PRIAS. Ambas capas están disponibles en el Sistema Nacional de Información Territorial (SNIT). Además, se debe cargar el polígono del Área de Conservación deseada y la capa

segmentada con el software Berkeley Image Seg Wizard. Este segmentador crea “polígonos basura” fuera del área de interés, por lo que el primer paso será cortar dichos polígonos con la herramienta “Clip”, se debe dar doble click en dicha herramienta, seleccionar como entrada la capa resultante de la segmentación y el polígono con el que se quiere cortar (este correspondería al Área de Conservación deseada). Además de indicar el nombre para la capa resultante. Luego se procederá a trabajar con las áreas de piña y ASP, para este paso es necesario sustituir las capas que ya vienen por defecto en el modelo, ya que las mismas tienen el directorio de la computadora donde este fue creado. Para cortar las capas sólo debe dar doble click en las herramientas Clip 2 - 3 y en la opción “Clip Features” seleccionar la capa de piña (Clip 2) y la de ASP (Clip 3), luego se indica el lugar y nombre de salida.

Seguidamente, en la herramienta “Erase” se debe seleccionar la capa de piña cargada al inicio, indicar un lugar y nombre de salida. Este mismo proceso se debe seguir con la herramienta “Erase 2” seleccionando para este caso la capa de ASP.

La capa con nombre “área efectiva” será la que se va a clasificar en el programa QGIS con el complemento LCCS3. Mientras que las capas resultantes de las herramientas “Clip” tendrán que ser revisadas posteriormente.

#### **4.8 Validación de la codificación**

Del total de puntos tomados de cada uso del suelo, en campo, para cada Área de Conservación, se destinó el 50% como apoyo para el proceso de clasificación y codificación de la segmentación, mientras que el otro 50% se utilizó en la validación de dicha clasificación.

Para el proceso de validación, se aplicó nuevamente la fórmula para definir el tamaño de la muestra (Fórmula 1), dado que anteriormente la muestra fue estimada para la realización del trabajo de campo, con datos estimados basado en la información del CeNAGRO del INEC (2015). Para esta etapa de validación se trabaja sobre los valores de las áreas realmente encontradas o clasificadas con el uso observado en la imagen. Además, la validación es calculada con un nivel de confiabilidad de 90%. En los casos que el tamaño de la muestra es inferior a lo

<b>INFORME I PAISAJE PRODUCTIVO DE PASTOS SIN ÁRBOLES PARA EL AÑO 2018 EN COSTA RICA</b>	Informe N° 1
	Cultivo: Pastos productivos
	Fecha: 14/10/2019
	<b>Página 50 de 86</b>

calculado durante la etapa de campo, se aplica un “*Random Sample*” para generar más puntos aleatorios y llegar al nivel de confianza buscado.

Una vez recalculados los puntos se crea la base de información en un archivo “dbf” que puede ser utilizado en *Excel* o en un programa SIG, con esta base se van validando los puntos de campo contra los usos clasificados en la imagen. Una vez generada esta base, se calcula la matriz de error, se calcula la exactitud del productor, del usuario, la exactitud global y sobre ello el estadístico kappa. Este valor es un coeficiente que refleja el nivel de concordancia inter-observador con valores entre +1 y -1, mientras más cercano a +1 mayor es el nivel de concordancia inter-observador. Los valores superiores a un 90% para el caso de la matriz son aceptados y se asumen parte del error esperado, los valores inferiores a ello son retornados al proceso para ser corregidos y clasificados nuevamente hasta alcanzar la exactitud deseada.

#### **4.9 Elaboración de metadatos y correcciones finales**

Algunos de los segmentos presentes durante la codificación son muy característicos y pueden generar mucha duda al momento de clasificarlos. Por esto se creó en la leyenda la clase llamada “Reclasificar”. Parte del proceso de depuración consiste en revisar estos polígonos, consultando siempre los insumos necesarios que permitan asignar la clase que más se adapte a sus características.

Otro paso importante en esta fase del proyecto es revisar los polígonos clasificados como pastos sin árboles y editarlos de ser necesario si se estuviera incluyendo alguna otra cobertura que no corresponde. Además, se debe asegurar que los polígonos con características particulares tengan sus respectivas observaciones. Por ejemplo, en caso de áreas que se tiene la certeza que el uso es para ganadería, pero se detectaron características de humedal en el sitio, esto debe estar especificado en el polígono. Así mismo, durante este proceso se corrigen los errores de topología en los archivos *shape* finales y se crean los metadatos para cada archivo basado en los estándares del SNIT.

## V. RESULTADOS

### 5.1 Revisión de literatura

Para llevar a cabo e identificar los procesos metodológicos necesarios para la identificación del paisaje productivo de pastos sin árboles en el país; se realizó una búsqueda de información científica, que permita generar un mayor conocimiento sobre herramientas y métodos de clasificación de imágenes Landsat y Sentinel. La búsqueda se realizó en bases de datos confiables como Research gate, Science direct, MDPI, ELSEVIER, entre otras.

Como parte de los resultados obtenidos en la revisión de literatura del plan piloto, se encontró que uno de los métodos más utilizados es el algoritmo de clasificación de máxima verosimilitud (MLC), ya que presenta una distribución normal o casi normal para cada característica de interés. Sin embargo, se realizaron pruebas para el Área de Conservación La Amistad Pacífico y esta clasificación no cumplió con las expectativas por lo que se procedió a analizar otras opciones.

Una técnica que ha sido muy utilizada en el campo de los sensores remotos es la segmentación de imágenes satelitales o clasificación orientada a objetos. Este proceso consiste en dividir completamente una escena en regiones o segmentos que no se superponen en el espacio de dicha escena, a partir del agrupamiento de píxeles según un criterio similar como la textura o número digital (Schiewe, 2012) (Neubert & Meinel, 2003).

En Argentina se realizó un estudio que buscaba analizar los patrones y procesos ecológicos en la escala de paisaje; para esto compararon clasificaciones por pixel basado en clasificación no supervisada y por regiones basado en segmentación, concluyendo que la clasificación por regiones produce patrones menos fragmentados, aun aplicando filtros de mayoría en la clasificación no supervisada, y se mejora la comparación de los estados de fragmentación y cobertura de la vegetación y sus cambios en el tiempo, ya que la segmentación incorpora otros criterios como el patrón de forma y la distancia a unidades vecinas (Conde, Perelman, & Cerezo, 2009).

<b>INFORME I PAISAJE PRODUCTIVO DE PASTOS SIN ÁRBOLES PARA EL AÑO 2018 EN COSTA RICA</b>	Informe N° 1
	Cultivo: Pastos productivos
	Fecha: 14/10/2019
	<b>Página 52 de 86</b>

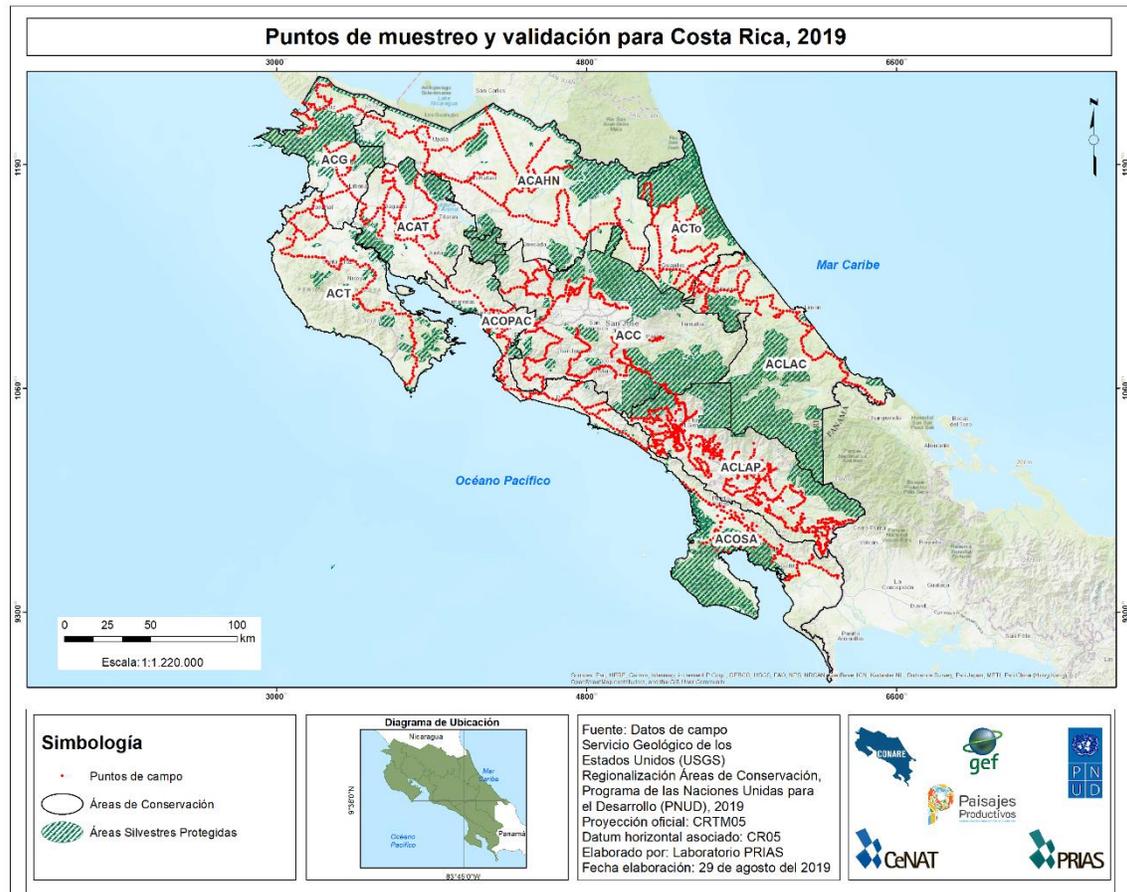
En Costa Rica, estas técnicas de segmentación se aplicaron para obtener el mapa de tipos de bosques en el Inventario Nacional Forestal (INF) 2013-2014, para lo cual se utilizó el software Berkeley Image Seg Wizard para obtener la segmentación de las imágenes a utilizar, alcanzando exactitudes globales iguales y mayores a 0,89 en la etapa de validación (Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC) – Programa REDD-CCAD-GIZ, 2015).

## **5.2 Muestreo de puntos de control y validación**

Durante el segundo semestre del año 2018 y la última semana de marzo del 2019 se llevaron a cabo las giras de campo correspondientes al área piloto del proyecto (ACLAP), para un total de ocho giras. Por otro lado, a inicios del segundo trimestre del 2019 se inició con el trabajo de campo correspondiente para la captura de datos para la capa de pastos sin árboles de todo el país, con la planificación de giras por Áreas de Conservación. Para esta etapa del proyecto se han realizado trece giras, cabe destacar que de acuerdo al cálculo de las áreas para validar puede ser necesario crear puntos de control de campo adicionales que se llevarían a cabo a final del último trimestre 2019 y se tiene pendiente una gira al Área de Conservación Central (ACC).

Estos puntos representan un apoyo fundamental en la etapa de clasificación y codificación de las coberturas observadas en las imágenes satelitales; así mismo, la parte de validación que permitirá evaluar exactitud de la capa de pastos sin árboles de Costa Rica.

En la Figura 10 se muestra la distribución de los puntos de muestreo y validación que se han tomado en las giras de campo para todo el país.



**Figura 10. Distribución de puntos de muestreo y validación para el proyecto MOCUPP, pastos sin árboles de Costa Rica.**

Parte del trabajo después de finalizada una gira consiste en el procesamiento de los datos. Con la información procesada para las 21 giras que se han realizado hasta el momento en el proyecto, incluyendo las giras realizadas para el plan piloto, se obtuvo el total de puntos proyectados a partir de los puntos centrales. En el Cuadro 9 se muestra la cantidad de puntos totales para el uso de pastos sin árboles; además, de los puntos totales para todas las clases de uso según la clasificación de la FAO y lo observado en campo, incluyendo los pastos sin árboles, esto para cada Área de Conservación.

**Cuadro 9. Cantidad de puntos para el uso de pastos sin árboles y totales para cada Área de Conservación, proyecto MOCUPP, pastos sin árboles de Costa Rica.**

Área de Conservación	Puntos de pastos sin árboles	Puntos totales
ACLAP	702	3.774
ACAHN	766	2.100
ACAT	393	1.088
ACC	401	2.405
ACG	285	833
ACLAC	248	1.357
ACOSA	135	888
ACOPAC	72	1.239
ACT	336	1.127
ACTo	385	1.134
<b>Total</b>	<b>3.723</b>	<b>15.945</b>

### 5.3 Tratamiento de imágenes satelitales

En la metodología se explicó el tratamiento realizado a las imágenes satelitales. En el Cuadro 10 se muestra cuáles fueron las imágenes procesadas, generando un mosaico y corte para cada Área de Conservación.

**Cuadro 10. Imágenes Sentinel 2 utilizadas para el mosaico y corte en cada Área de Conservación, proyecto MOCUPP, pastos sin árboles de Costa Rica.**

<b>Área de Conservación</b>	<b>Imágenes satelitales Sentinel 2</b>
<b>ACLAP</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• L1C_T16PHR_A005514_20180327T160506</li> <li>• L1C_T17PKK_A005514_20180327T160506</li> <li>• L1C_T17PKL_A005514_20180327T160506</li> <li>• L1C_T17PLK_A005514_20180327T160506</li> </ul>
<b>ACAHN</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• L1C_T16PFS_A016825_20180911T161851</li> <li>• L1C_T16PGS_A014494_20180401T160955</li> <li>• L1C_T16PHS_A014494_20180401T160955</li> <li>• L1C_T16PGT_A017211_20181008T160508</li> <li>• L1C_T16PGT_A018255_20181220T161518</li> <li>• L1C_T16PFT_A016825_20180911T161851</li> <li>• L1C_T16PGS_A013965_20180223T161636</li> </ul>
<b>ACAT</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• L1C_T16PFS_A014537_20180404T161709</li> <li>• L1C_T16PGS_A013922_20180220T160508</li> <li>• L1C_T16PGS_A013965_20180223T161636</li> </ul>
<b>ACC</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• L1C_T16PHR_A004799_20180205T161021</li> <li>• L1C_T16PHS_A004799_20180205T161021</li> <li>• L1C_T16PGS_A014494_20180401T160955</li> <li>• L1C_T16PHS_A014494_20180401T160955</li> <li>• L1C_T16PGR_A004799_20180205T161021</li> </ul>
<b>ACG</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• L1C_T16PFS_A014537_20180404T161709</li> <li>• L1C_T16PFT_A014537_20180404T161709</li> </ul>
<b>ACLAC</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• L1C_T17PKL_A009232_20181212T160504</li> <li>• L1C_T17PLL_A009232_20181212T160504</li> <li>• L1C_T17PKM_A018069_20181207T160503</li> </ul>
<b>ACOSA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• L1C_T16PHR_A005085_20180225T161005</li> <li>• L1C_T17PKK_A005514_20180327T160506</li> <li>• L1C_T16PHQ_A005514_20180327T160506</li> <li>• L1C_T17NKJ_A004799_20180205T161021</li> </ul>
<b>ACOPAC</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• L1C_T16PHR_A005085_20180225T161005</li> <li>• L1C_T16PGS_A014065_20180302T160508</li> <li>• L1C_T16PGR_A004799_20180205T161021</li> <li>• L1C_T16PGS_A013965_20180223T161636</li> </ul>
<b>ACT</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• L1C_T16PFR_A018112_20181210T161447</li> <li>• L1C_T16PFS_A009418_20181225T161522</li> <li>• L1C_T16PGR_A018112_20181210T161447</li> <li>• L1C_T16PGS_A009275_20181215T160847</li> </ul>
<b>ACTo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• L1C_T16PHS_A014494_20180401T160955</li> <li>• L1C_T16PHT_A005514_20180327T160506</li> </ul>

Estas imágenes satelitales se seleccionaron de manera que cada archivo ráster final para las Área de Conservación se encontrara, en lo posible, libre de nubes. Posteriormente se realizó la segmentación a cada recorte y se está en proceso su respectiva clasificación y codificación.

El Cuadro 11 muestra los resultados de procesamiento alcanzados a la fecha de presentación de este informe.

**Cuadro 11. Porcentaje de avance de las Áreas de Conservación procesadas por método de clasificación y codificación de segmentos.**

Área de Conservación	Área (ha)	Área clasificada (%)
ACLAP	555.789,58	100
ACAHN	892.409,59	0
ACAT	369.034,86	9,25
ACC	860.752,81	0
ACG	293.697,02	0
ACLAC	609.267,40	2,49
ACOSA	429.575,66	8,88
ACOPAC	277.362,15	0
ACT	515.162,50	0
ACTo	305.299,55	50,90

Es importante considerar que este cuadro abarca la totalidad del área incluyendo los polígonos de las Áreas Silvestres Protegidas, en el procesamiento estas áreas son revisadas y se edita únicamente los polígonos que sean pastos sin árboles para reducir el tiempo de procesamiento. Para el caso de ACTo que es el área con mayor avance a la fecha sin considerar las ASP se ha procesado un 92,80% del total del área.

Las Áreas de Conservación La Amistad Pacífico (ACLAP) y Tortuguero (ACTo) fueron las unidades territoriales seleccionadas para la clasificación de coberturas utilizando la segmentación con una combinación de 100\_0,6\_0,2. El Cuadro 12 muestra los resultados obtenidos en la clasificación y codificación de coberturas de dichas áreas; ACLAP (área piloto) se dividió en tres zonas (A-B1-B2) para acelerar el proceso de prueba y tener el criterio de diferentes personas, así mismo, los

<b>INFORME I PAISAJE PRODUCTIVO DE PASTOS SIN ÁRBOLES PARA EL AÑO 2018 EN COSTA RICA</b>	Informe N° 1
	Cultivo: Pastos productivos
	Fecha: 14/10/2019
	<b>Página 57 de 86</b>

resultados de ACTo se utilizan para correlacionar los resultados entre áreas de conservación.

Para las áreas en estudio, se observó que las superficies donde la matriz del paisaje presenta mayor variabilidad de coberturas, la combinación (100\_0,6\_0,2) utilizada no es la más adecuada, ya que se deben editar muchos polígonos para coincidir con la cobertura correcta; por ejemplo, en el caso de ACLAP-A se inició con 21.550 y se terminó con total de 30.667 polígonos, con incremento de 68%. ACLAP-B1 tuvo un aumento de 93% del total de polígonos al cortar 8.189 segmentos; así mismo, ACLAP-B2 pasó de 8.245 iniciales a 17.000 polígonos finales, lo que corresponde a un incremento de 106%. Por otra parte, ACTo está en etapa de procesamiento (77% del total), el cual comenzó con 16.875 polígonos y se han cortado alrededor de 7.650; para tener un aumento de 45% m de polígonos totales.

**Cuadro 12. Pruebas de segmentación con un umbral de 100 para las áreas de conservación ACLAP y ACTo**

Segmentación							
Área de Conservación	Área total (ha)	Combinación de parámetros	Polígonos iniciales	Polígonos finales	Polígonos editados	Tiempo real (días)	Incremento de polígonos (%)
<b>ACLAP-A</b>	211.801	100_0,6_0,2	18.220	30.667	12.447	60	68
<b>ACLAP-B1</b>	124.695		8.845	17.034	8.189	52	93
<b>ACLAP-B2</b>	88.975		8.245	17.000	8.755	42	106
<b>ACTo</b>	168.570		16.875	24.525	7.650	36	45

Por esta razón se probaron cuatro combinaciones nuevas modificando sólo el primer parámetro (umbral) ya que se prevé que el tamaño de los polígonos es lo que debería disminuir y tener mayor exactitud en la división de los segmentos.

Para determinar la mejor o las mejores combinaciones a utilizar en el proyecto, se analizaron las segmentaciones en dos matrices de paisajes. Una de las áreas seleccionadas representa una matriz poco heterogénea, es decir, que la región muestra pocas coberturas y superficies extensas; por ejemplo, áreas donde se puede observar principalmente bosque y pastos. La otra matriz analizada correspondió a un paisaje más heterogéneo, donde se presentan mayor combinación de coberturas en áreas más pequeñas; tal y como se presentan en zonas de infraestructura, diversidad de cultivos, plantaciones forestales y pastos. Por lo tanto, se efectuaron pruebas con las siguientes combinaciones:

- 100\_0,6\_0,2
- 70\_0,6\_0,2
- 50\_0,6\_0,2
- 40\_0,6\_0,2
- 30\_0,6\_0,2

Las pruebas de segmentación con diferentes combinaciones se realizaron en el Área de Conservación La Amistad Pacífico (ACLAP); en la Figura 11 se puede observar las primeras pruebas efectuadas con una matriz poco heterogénea en zonas con superficies extensas de pastos sin árboles y bosque. Las combinaciones 100\_0,6\_0,2 y 70\_0,6\_0,2 generan polígonos muy grandes; sin embargo, para áreas poco heterogéneas facilita la clasificación de segmentos, ya que se crean menor cantidad de polígonos y se disminuye el tiempo del proceso. Por otro lado, las segmentaciones con valores de umbral de 50, 40 y 30 generan muchos polígonos que son innecesarios, ya que en una misma cobertura genera varios segmentos.

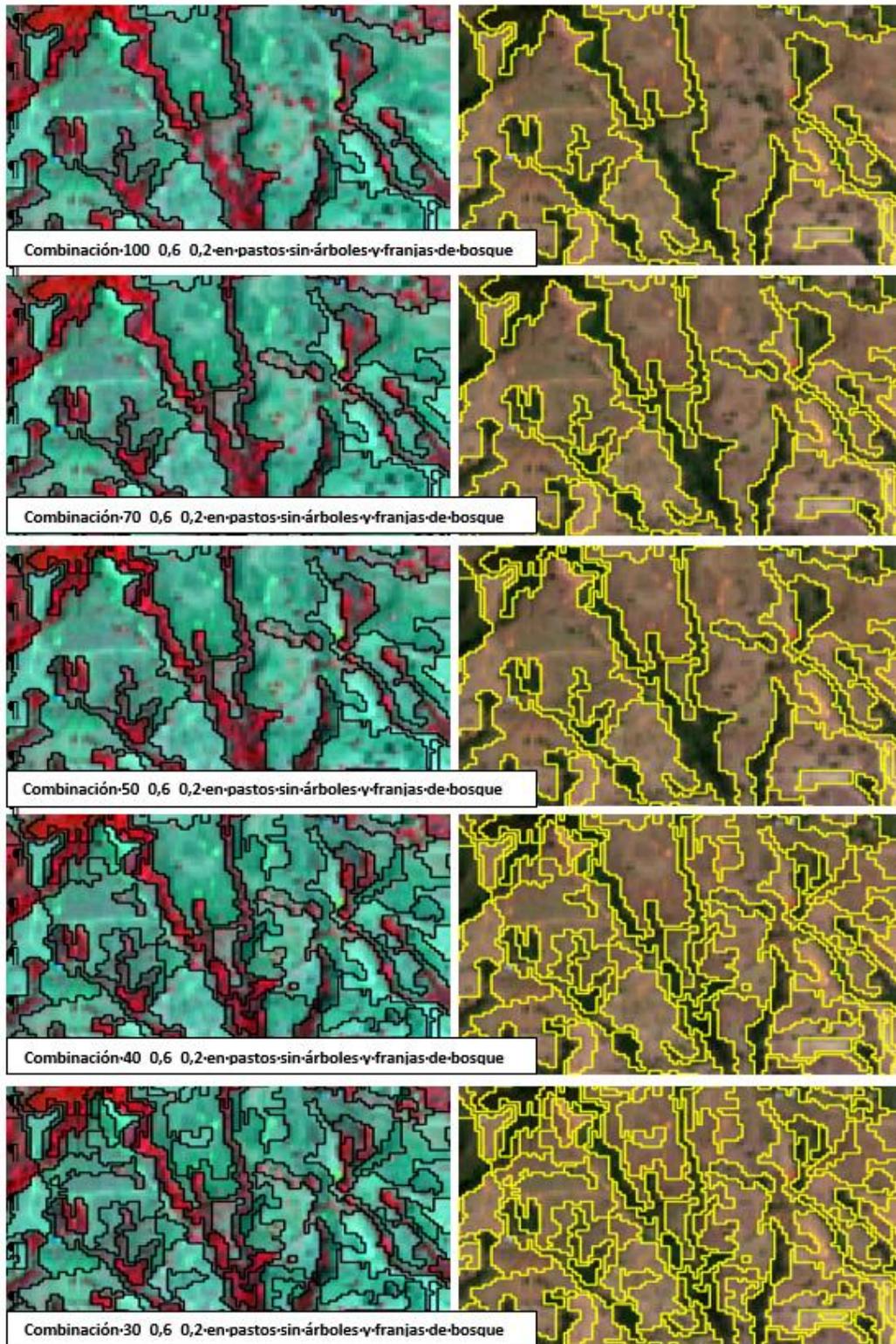


Figura 11. Imagen Sentinel-2 segmentada con diferentes parámetros de umbral en una matriz poco heterogénea.

<b>INFORME I PAISAJE PRODUCTIVO DE PASTOS SIN ÁRBOLES PARA EL AÑO 2018 EN COSTA RICA</b>	Informe N° 1
	Cultivo: Pastos productivos
	Fecha: 14/10/2019
	<b>Página 61 de 86</b>

La Figura 12 muestra las pruebas realizadas con los diferentes parámetros de umbral (100, 70, 50, 40 y 30) en una unidad territorial heterogenea que presenta pastos sin árboles, pastos con árboles y franjas de bosque. Para este caso se puede observar como la segmentación con un umbral de 100 y 70, presentan algunos errores ya que un área de pastos que podría ser clasificado como pasto limpio, está en el mismo segmento que corresponde a un área de pastos con árboles; no obstante, la combinación 70\_0,6\_0,2 genera unos segmentos más adecuados en esta zona, ya que separa mejor algunos pastos limpios de los pastos arbolados y se puede observar el camino presente en la imagen.

La combinación con valor de umbral 50, demostró una mejor división de coberturas con respecto a los parámetros anteriores principalmente las franjas de bosque y pastos; mientras que los valores de 40 y 30 continuán generando segmentos muy pequeños y de poca utilidad en zonas con coberturas extensas. Una de las limitantes observadas en relación al valor de umbral 30, es que en un área que puede ser clasificada como pastos sin árboles (matriz general) tendría la división de poligonos más detallada debido a segmentos asociados a grupos pequeños de árboles.

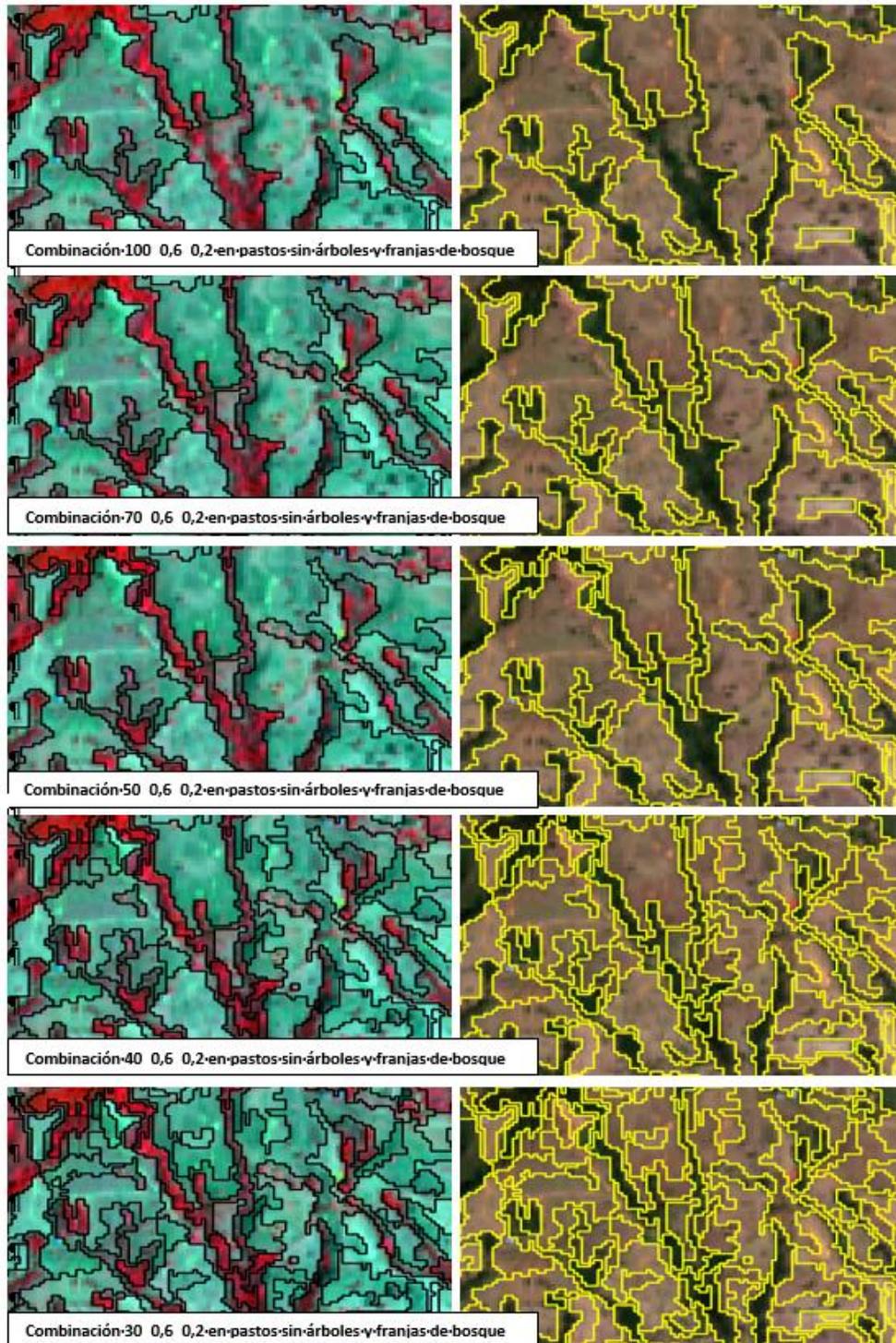


Figura 12. Imagen Sentinel-2 segmentada con diferentes parámetros de umbral en una matriz heterogénea.

INFORME I PAISAJE PRODUCTIVO DE PASTOS SIN ÁRBOLES PARA EL AÑO 2018 EN COSTA RICA	Informe N° 1
	Cultivo: Pastos productivos
	Fecha: 14/10/2019
	<b>Página 63 de 86</b>

En una matriz muy heterogénea como se muestra en la Figura 13, las coberturas existentes presentan mayor problema con la segmentación utilizada a 100\_06\_02 y 70\_06\_02; estas combinaciones de parámetros crean polígonos muy grandes que incluye e integra diversas coberturas relativamente pequeñas como infraestructura, pastos, suelo desnudo y cultivos. Esto provoca que se deba realizar múltiples cortes a un mismo polígono para dividir las coberturas y con ello facilitar la clasificación de las mismas; además, al utilizar una escala mínima establecida para la codificación de los segmentos a 1:5000 representa un problema, ya que para identificar y cortar los polígonos se hace imposible a esta escala y se requiere desplazar el visor del programa para analizar bien el polígono.

Los umbrales 50, 40 y 30 presentaron mejores resultados de segmentación en paisajes mucho más heterogéneos, ya que estos se dividen en polígonos más pequeños y con un grado de especificidad alto; lo que facilita la observación y clasificación de las coberturas.

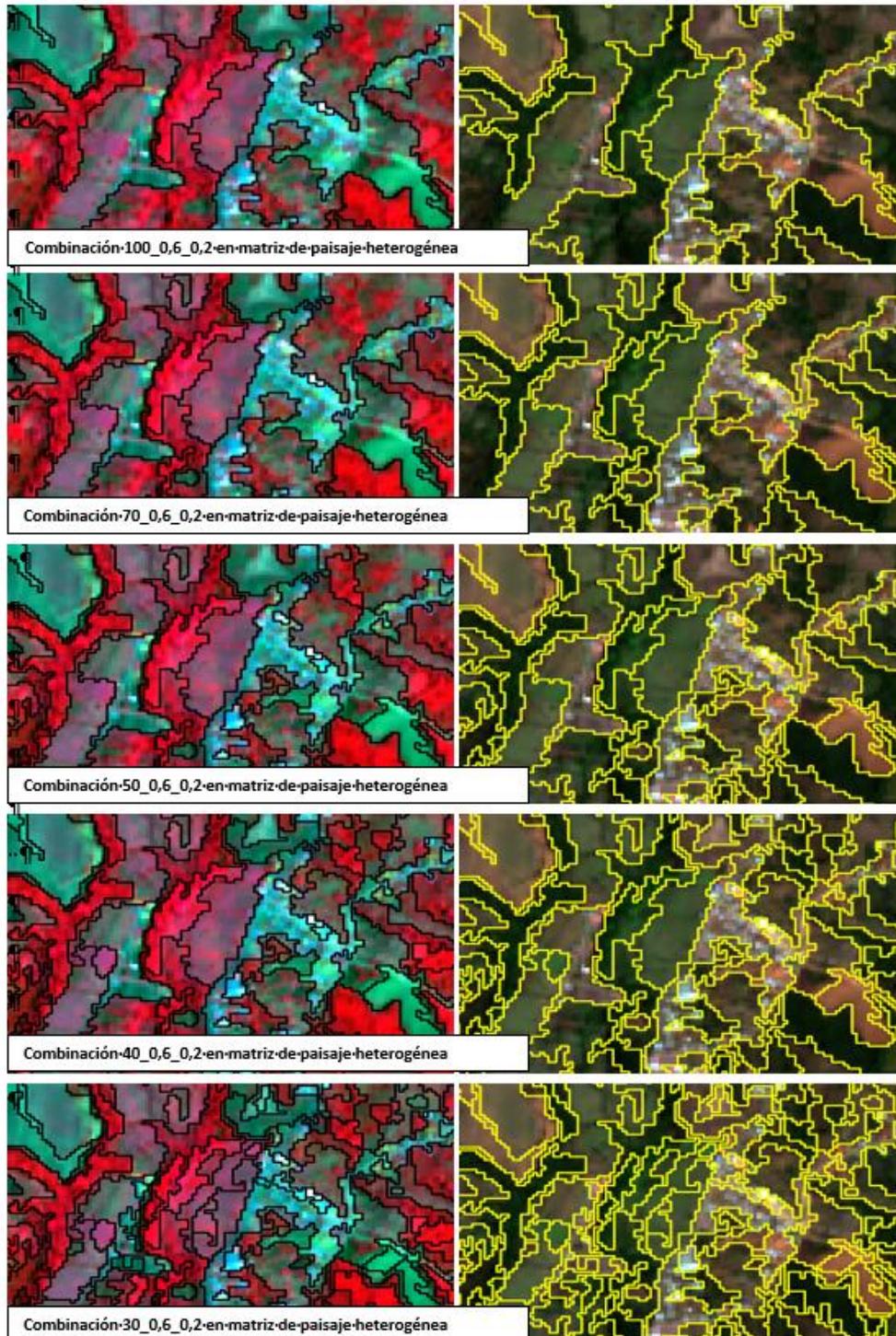


Figura 13. Imagen Sentinel-2 segmentada con diferentes parámetros de umbral en una matriz muy heterogénea.

Por último, se realizó una prueba de segmentación utilizando los cinco diferentes parámetros analizados anteriormente; se utilizó el 50% total del Área de Conservación La Amistad Pacífico (280.871,89 ha) con el objetivo de estimar la cantidad de polígonos que genera cada umbral. Como se puede observar en Cuadro 13, entre mayor sea el umbral seleccionado menor va ser la cantidad de polígonos.

**Cuadro 13. Número de polígonos para las diferentes combinaciones con el segmentador Berkeley Image Seg Wizard**

Combinación	Número de polígonos
100_0,6_0,2	<b>30.668</b>
70_0,6_0,2	<b>58.196</b>
50_0,6_0,2	<b>107.071</b>
40_0,6_0,2	<b>160.237</b>
30_0,6_0,2	<b>270.194</b>

El análisis de los resultados presentados anteriormente demuestra que los parámetros con umbral menor facilitan el proceso de clasificación y codificación de coberturas; debido a que Costa Rica presenta una gran diversidad en la matriz de paisaje, se requiere utilizar una segmentación que se ajuste a dicha variabilidad. Por tal razón, se realizó una prueba utilizando los parámetros de umbral de 50 y 30; el objetivo es determinar el tiempo utilizado, la cantidad, la visualización, el tamaño y la especificidad de los polígonos.

Las pruebas se realizaron en dos diferentes unidades territoriales dentro del área piloto de ACLAP; las zonas se seleccionaron en consideración al contexto del paisaje: el primer cuadrante contiene una matriz más homogénea de pastos sin árboles y el segundo cuadrante una matriz más heterogénea de cultivos, áreas urbanas y bosque. El cuadro 14 muestra los resultados entre las dos variables evaluadas para cada cuadrante (Figura 14); el primer cuadrante utilizando el umbral de 30 inició con 277 polígonos y finalizó con 279, es decir, se tuvo que realizar solamente 2 cortes en un tiempo estimado de 17 minutos. Mientras que al utilizar el

umbral de 50 comenzó en 121 polígonos y terminó con un total de 134; se incrementó 13 segmentos con una duración de 18 minutos.

En el caso del cuadrante 2, con la segmentación basada en el umbral de 30, se inició con 256 polígonos y se finalizó con 269, aumentando en 13 polígonos y con un tiempo estimado de 20 min para completar la codificación del cuadrante. Para la segmentación basada en un umbral de 50, se inició con 94 polígonos y se terminó con 126, aumentando en 32 polígonos y con una duración estimada de 20 min para completar la codificación del cuadrante.

**Cuadro 14. Resultados obtenidos de la prueba de segmentación utilizando umbral de 50 y 30**

ACLAP	Área total (ha)	Combinación de parámetros	Polígonos <i>iniciales</i>	Polígonos finales	Polígonos editados	Tiempo efectivo (horas)
<b>Cuadrante-1</b>	649,27	30_0,6_0,2	277	279	2	0,17
	649,27	50_0,6_0,2	121	134	13	0,18
<b>Cuadrante-2</b>	649,27	30_0,6_0,2	256	269	13	0,2
	649,27	50_0,6_0,2	94	126	32	0,2

En la figura 14 se puede observar los cuadrantes 1 y 2 respectivamente; clasificados y codificados en un 100%, utilizando los parámetros de umbral de 50 y 30 para cada cuadrante. El análisis del resultado con respecto a tiempo, precisión y la cantidad de polígonos definidos en las segmentaciones; permite concluir que el umbral de 50 es el más óptimo para continuar con la clasificación de coberturas, ya que los tiempos de codificación no lograron establecer una diferencia significativa entre las segmentaciones para ambos cuadrantes. La división de polígonos proporcionó una mejor identificación de coberturas y la cantidad total de polígonos es aproximadamente la mitad de segmentos con respecto al umbral de 30.

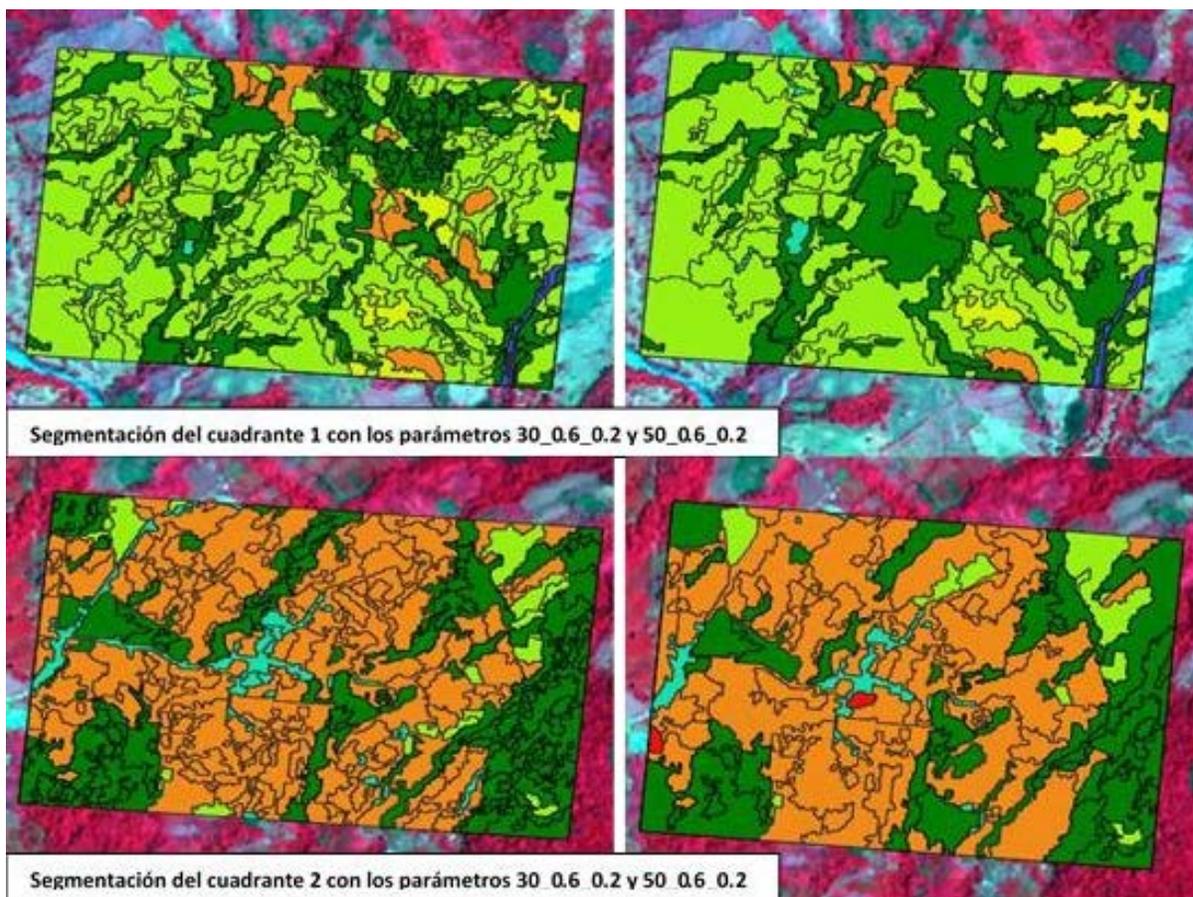


Figura 14. Clasificación y codificación de segmentos utilizando umbrales de 50 y 30.

<p style="text-align: center;">CONSERVANDO LA BIODIVERSIDAD POR MEDIO DEL MANEJO SOSTENIBLE DE PAISAJES PRODUCTIVOS EN COSTA RICA – MOCUPP PASTOS SIN ÁRBOLES DE COSTA RICA</p>	Informe N°: 1
	Cultivo: Pastos sin árboles Costa Rica
	Fecha: 14/10/2019
	Página 68 de 86

Sin embargo, para determinar el umbral que mejor se ajuste para el desarrollo de la segmentación del país, se estableció realizar una evaluación final de los umbrales de 50 y 100 (utilizado en el área piloto) en áreas de mayor tamaño y complejidad.

Las pruebas finales se realizaron en dos áreas de conservación: La Amistad Caribe (ACLAC) y Osa (ACOSA); se efectuó un análisis de los cantones y los distritos para la identificación de una unidad territorial con una alta diversidad de usos del suelo. En la primera área, el distrito que presentó mayores parámetros de heterogeneidad fue el Cairo, ubicado en el cantón de Siquirres y presenta un área aproximada de 10.696 hectáreas. Los parámetros evaluados fueron los umbrales de 50 y 100 con el objetivo de definir el tamaño óptimo de los segmentos; para ello el distrito se dividió en dos partes:

Cairo-A (5.318 ha) con el umbral de 100 y Cairo-B (5.378 ha) con el umbral de 50. En el cuadro 15 se puede observar los resultados de la segmentación para cada área de trabajo, la cantidad de polígonos procesados y el tiempo efectivo (cronometrado) de duración para la codificación.

**Cuadro 15. Resultados obtenidos en las pruebas de segmentación, utilizando umbrales de 100 y 50 en el distrito del Cairo, Siquirres.**

Segmentación										
Distrito de ACLAC	Área total (ha)	Combinación de parámetros	Polígonos iniciales	Polígonos finales	Polígonos editados	Polígonos unidos	Tiempo efectivo (horas)	Tiempo real (horas)	Incremento de polígonos (%)	Tiempo por segmento (min)
<b>Cairo-A</b>	5.318	100_0,6_0,2	476	1.098	622	22	12,4	18	131	0,68
<b>Cairo-B</b>	5.378	50_0,6_0,2	1.953	2.443	490	16	12,3	17,5	25	0,30

<p>CONSERVANDO LA BIODIVERSIDAD POR MEDIO DEL MANEJO SOSTENIBLE DE PAISAJES PRODUCTIVOS EN COSTA RICA – MOCUPP PASTOS SIN ÁRBOLES COSTA RICA</p>	Informe I
	Cultivo: Pastos sin árboles
	Fecha: 14/10/2019
	Página 70 de 86

Para el área de Cairo-A al utilizar un parámetro de 100 dio como resultado un total de 476 polígonos iniciales; la codificación total de esta área duró aproximadamente 12 horas con 40 min, finalizando con un total de 1.098 polígonos clasificados, 622 polígonos editados y 22 polígonos unidos. En el caso de Cairo-B se utilizó el parámetro de 50 y la cantidad de polígonos iniciales fue de 1.953; al finalizar la codificación del área se obtuvo un total de 2.443 polígonos, se cortaron 490 y se unieron 16 polígonos en un tiempo aproximado de 12 horas con 30 minutos. Dado estos resultados, se puede concluir que al utilizar el umbral 100, el incremento en la cantidad de polígonos es de 131% y el tiempo promedio para codificar y clasificar un segmento es de 0,68 minutos; mientras que el umbral de 50 incrementó solo en 25% y el tiempo de clasificación por segmento es de 0,30 minutos.

El distrito de Cairo mostró mucha diversidad de coberturas de uso de suelo; como se puede observar en Cuadro 16, el área de Cairo-B presentó un 100% de representatividad para todas las coberturas mientras que el área de Cairo-A solamente no se identificaron segmentos con cobertura de plantación forestal, sombras de nubes, playas y arenales. Para las dos unidades territoriales seleccionadas, las coberturas que tuvieron mayor presencia fueron bosque, pastos sin árboles, cultivos y pasto arbolado respectivamente.

**Cuadro 16. Clasificación y codificación de coberturas en el distrito Cairo, Siquirres.**

Distrito de ACLAC	Bosque	Plantación forestal	Pasto arbolado	Pasto sin árboles	Cultivos	Playas y arenas	Infra- estructura	Otros tipos de pastos	Aguas continentales	Nubes	Sombras de Nubes	Desconocido	Polígonos finales
<b>Cairo-A</b>	388	0	94	314	216	0	32	2	28	16	0	8	1 098
<b>Cairo-B</b>	803	14	166	561	384	55	191	11	152	59	23	14	2 433
<b>Polígonos totales</b>	1 191	14	260	875	600	55	223	13	180	75	23	22	3 531

<p style="text-align: center;">CONSERVANDO LA BIODIVERSIDAD POR MEDIO DEL MANEJO SOSTENIBLE DE PAISAJES PRODUCTIVOS EN COSTA RICA – MOCUPP PASTOS SIN ÁRBOLES COSTA RICA</p>	Informe I
	Cultivo: Pastos sin árboles
	Fecha: 14/10/2019
	Página 72 de 86

Para el Área de Conservación Osa (ACOSA) se seleccionó el distrito de Canoas como zona de estudio para la elaboración de las pruebas, las cuales se aplicaron en las mismas combinaciones que en el caso de ACLAC, correspondiendo los valores de 50\_0,6\_0,2 a Canoas-A y 100\_0,6\_0,2 a Canoas-B. El Cuadro 17 muestra un resumen de los principales resultados adquiridos con las pruebas aplicadas.

Como se puede observar en la primera prueba realizada con un umbral de 50, el área de Canoas-A inició con un valor de 2.214 polígonos, los cuales al ser editados incrementaron un 32% del total inicial, brindando un valor final de 2.917 polígonos clasificados y codificados en un promedio de 13 horas con 30 minutos, Por otro lado, en el caso de Canoas-B con un umbral de 100 se inició con 445 polígonos, de los cuales se obtuvo un incremento de un 77%, generando un total de 787 polígonos finales en un periodo de 6 horas y 20 minutos. No obstante, es importante recalcar que el área de Canoas-A mostró una matriz de paisaje muy heterogénea lo cual implicó una mayor cantidad de tiempo en la clasificación y codificación de la misma, por lo que la prueba de 50 tardó más que la de 100, ya que por su lado el área Canoas-B mostró una matriz muy homogénea y sencilla de codificar. No obstante, este patrón es muy difícil de encontrar debido al tamaño del umbral, ya que la combinación de 50 presenta polígonos más pequeños y por tanto más puros, lo que facilita el análisis del área, sin embargo, hay zonas que independientemente del tamaño del polígono muestran una alta dificultad, la cual es aún mayor si se analizan con polígonos más grandes y por tanto más mezclados. Por lo que a pesar de que la combinación de 50 tardó mayor tiempo que la de 100, este podría aumentar aún más si se analizara esa misma área con un umbral de 100.

<p style="text-align: center;">CONSERVANDO LA BIODIVERSIDAD POR MEDIO DEL MANEJO SOSTENIBLE DE PAISAJES PRODUCTIVOS EN COSTA RICA – MOCUPP PASTOS SIN ÁRBOLES DE COSTA RICA</p>	Informe N°: 1
	Cultivo: Pastos sin árboles Costa Rica
	Fecha: 14/10/2019
	Página 73 de 86

Finalmente, analizando el incremento de polígonos que se obtuvieron, se puede concluir que la combinación de 100\_0,6\_0,2 es la que requiere mayor edición para generar buenos resultados; ya que al ser polígonos de mayor tamaño abarcan también mayor diversidad, por lo que se deben realizar más cortes e implica mayores complicaciones, especialmente en los polígonos donde la herramienta de cortar no funciona correctamente. Mientras que con la combinación de 50\_0,6\_0,2 el incremento es mucho menor, ya que por lo general son polígonos con usos muy bien identificados y segmentados, por esta razón el tiempo promedio utilizado por polígono es de 0,27 minutos para el caso A y 0,47 minutos para el caso B.

En el Cuadro 18 se puede observar lo comentado en el párrafo anterior donde en Canoas-A hay mayor diversidad de usos, mostrando seis clases con valores mayores a 100, mientras que en el caso de Canoas-B solamente 2 clases presentan cantidades superiores a 100, siendo una zona más homogénea donde los bosques y los cultivos son los más representativos.

**Cuadro 17. Resultados obtenidos en la prueba de segmentación utilizando umbrales de 50 y100 en el distrito de Canoas, Corredores.**

Segmentación										
Distrito de ACOSA	Área total (ha)	Combinación de parámetros	Polígonos iniciales	Polígonos finales	Polígonos editados	Polígonos unidos	Tiempo efectivo (horas)	Tiempo real (horas)	Incremento de polígonos (%)	Tiempo por segmento (min)
Canoas-A	6.114,20	50_0,6_0,2	2.214	2.917	703	0	13,3	20	32	0,27
Canoas-B	6.089,77	100_0,6_0,2	445	787	342	0	6,2	8	77	0,47

**Cuadro 18. Clasificación y codificación de coberturas en el distrito de Canoas, Corredores.**

Distrito de ACOSA	Bosque	Plantación forestal	Pasto arbolado	Pasto sin árboles	Cultivos	Playas y arenas	Infra-estructura	Otros tipos de pastos	Aguas continentales	Nubes	Sombras de Nubes	Desconocido	Polígonos finales
Canoas-A	914	127	190	564	671	0	367	21	22	0	0	41	2.917
Canoas-B	791	75	32	91	313	0	79	4	0	0	0	4	1.389
<b>Polígonos totales</b>	1.705	202	222	655	984	0	446	25	22	0	0	45	4.306

<p>CONSERVANDO LA BIODIVERSIDAD POR MEDIO DEL MANEJO SOSTENIBLE DE PAISAJES PRODUCTIVOS EN COSTA RICA – MOCUPP PASTOS SIN ÁRBOLES COSTA RICA</p>	Informe I
	Cultivo: Pastos sin árboles
	Fecha: 14/10/2019
	Página 75 de 86

## Conclusiones

Las pruebas de clasificación de imágenes no dieron los mejores resultados esperados en tiempo, por lo que se analizó la posibilidad de la aplicación de segmentación, datos que fueron los aplicados para el desarrollo de las capas luego del piloto ACLAP.

Las pruebas de segmentación con el umbral 100 y 70 mostraron polígonos muy grandes y gran diversidad de coberturas; mientras que los umbrales 50, 40 y 30 presentaron polígonos más pequeños y más homogéneos.

Los resultados de las pruebas con umbrales 50 y 30; mostraron que, el primero determinó mayor precisión en la identificación de coberturas, mientras que el segundo realiza la división en varios polígonos de una misma cobertura.

El análisis de los resultados entre los umbrales 100 y 50 comprobó que la combinación 50\_0,6\_0,2 es la más recomendable para la clasificación y codificación de coberturas en el país.

Para el caso de las pruebas realizadas en Cairo:

- El tiempo de duración que llevó a cabo la codificación total para cada una de las áreas fue muy similar, esto indica que no existe una diferencia significativa en el aumento de polígonos con el parámetro de 50.
- La cantidad de polígonos para la unidad territorial de Cairo-A se cuadruplicaron con respecto a los polígonos iniciales.
- Para las dos áreas se tuvo que realizar la unión de varios polígonos, debido a complicaciones al momento de hacer cortes; ya que son segmentos muy grandes y de alta variabilidad.

Para el caso de las pruebas realizadas en Canoas:

- La combinación de 50 tardó más tiempo en codificarse que la de 100, lo que demuestra que el tiempo necesario para una buena clasificación y



codificación de los polígonos se ve influenciado tanto por el tamaño del umbral como por la complejidad de la matriz de paisaje de la zona en análisis.

- A menor tamaño de umbral mayor pureza de los segmentos, por tanto, mayor facilidad de análisis, no obstante, también mayor cantidad de polígonos, por lo que se debe utilizar un valor que genere resultados factibles de procesar en el tiempo establecido por el proyecto.
- La combinación de 100 duplicó el incremento de polígonos obtenida con la combinación de 50, lo que provoca mayor inversión de tiempo en la edición de los polígonos para poder generar los mejores resultados.

## VI. ANEXOS

### Anexo 1. Formulario para toma de datos de campo.

Formulario para evaluar uso y cobertura del suelo Laboratorio PRIAS, CeNAT. Anotador: \_\_\_\_\_ Página #: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_ Lugar: \_\_\_\_\_ Ruta \_\_\_\_\_ Código GPS: \_\_\_\_\_

ID/ERROR	X_WGS84	Y_WGS84	ALTITUD (m)	DIST (m)	AZIMUT	COBERTURA SIMOCUTE	USO FAO	FOTO	OBSERVACIONES
				0	/				
				50					
				100					
				150					
				50					
				100					
				150					
				0	/				
				50					
				100					
				150					
				0	/				
				50					
				100					
				150					
				0	/				
				50					
				100					
				150					
				0	/				
				50					
				100					
				150					
				0	/				
				50					
				100					
				150					
				0	/				
				50					
				100					
				150					
				0	/				
				50					
				100					
				150					
				0	/				
				50					
				100					
				150					
				0	/				
				50					
				100					
				150					
				0	/				
				50					
				100					
				150					
				0	/				
				50					
				100					
				150					
				0	/				
				50					
				100					
				150					
				0	/				
				50					
				100					
				150					
				0	/				
				50					
				100					
				150					
				0	/				
				50					
				100					
				150					
				0	/				
				50					
				100					
				150					
				0	/				
				50					
				100					
				150					
				0	/				
				50					
				100					
				150					
				0	/				
				50					
				100					
				150					
				0	/				
				50					
				100					
				150					
				0	/				
				50					
				100					
				150					
				0	/				
				50					
				100					
				150					
				0	/				
				50					
				100					
				150					
				0	/				
				50					
				100					
				150					
				0	/				
				50					
				100					
				150					
				0	/				
				50					
				100					
				150					
				0	/				
				50					
				100					
				150					
				0	/				
				50					
				100					
				150					
				0	/				
				50					
				100					
				150					
				0	/				
				50					
				100					
				150					
				0	/				
				50					
				100					
				150					
				0	/				
				50					
				100					
				150					
				0	/				
				50					
				100					
				150					
				0	/				
				50					
				100					
				150					
				0	/				
				50					
				100					
				150					
				0	/				
				50					
				100					
				150					
				0	/				
				50					
				100					
				150					
				0	/				
				50					
				100					
				150					
				0	/				
				50					
				100					
				150					
				0	/				
				50					
				100					
				150					
				0	/				
				50					
				100					
				150					
				0	/				
				50					
				100					
				150					
				0	/				
				50					
				100					
				150					
				0	/				
				50					
				100					
				150					
				0	/				
				50					
				100					
				150					
				0	/				
				50					
				100					
				150					
				0	/				
				50					
				100					
				150					
				0	/				
				50					
				100					
				150					
				0	/				
				50					
				100					
				150					
				0	/				
				50					
				100					
				150					
				0	/				
				50					
				100					
				150					
				0	/				
				50					
				100					
				150					
				0	/				
				50					
				100					
				150					
				0	/				
				50					
				100					
				150					
				0	/				
				50					
				100					
				150					
				0	/				
				50					
				100					
				150					
				0	/				
				50					
				100					
				150					
				0	/				
				50					
				100					
				150					
				0	/				
				50					
				100					
				150					
				0	/				

## Anexo 2. Clave para la clasificación de cobertura de la Tierra de SIMOCUTE.

Código	Clase	Descripción
1000	Vegetación	Área de la superficie terrestre cubierta por un determinado tipo de cobertura vegetal
1100	Árboles	Áreas pobladas de plantas con tronco leñoso grueso y elevado que se ramifica a cierta altura del suelo formando la copa
1200	Arbustos	Áreas pobladas de plantas leñosas perenne de menos de 5 metros de altura sin un tronco dominante que se ramifica a partir de la base
1300	Herbáceas	Áreas pobladas de plantas que carece de tronco leñoso permanente cuyo tallo es de tejido blando
1310	Gramíneas	Áreas cubiertas por plantas de tallo cilíndrico nudoso, hojas alternas que abrazan el tallo, y flores agrupadas en espigas
1320	Musáceas	Áreas cubiertas por plantas perennes gigantes con pseudo-tallo con alturas de 3,5 a 7,0 metros con hojas grandes dispuestas en forma de espiral
1330	Otras herbáceas	Áreas cubiertas por otras herbáceas como papa, cebolla, zanahorias, cucurbitáceas, piña, u otras plantas no vasculares.
1400	Palmas	Áreas pobladas de plantas con tronco leñoso hojas grandes palmeadas o pinnadas reunidas en un penacho
1500	Sarán	Áreas con vegetación bajo material semitransparente de sarán
1600	Plástico	Áreas con vegetación bajo material transparente de plástico
1700	Otra vegetación	Áreas con un tipo vegetación no incluida en las clases anteriores
2000	Sin Vegetación	Área de la superficie terrestre sin cobertura vegetal de ningún tipo
2100	Terreno descubierto	Área desprovista de vegetación o infraestructuras
2110	Suelo desnudo	Áreas de terreno con suelo expuesto por causas naturales o antrópicas
2120	Afloramiento rocoso	Áreas de superficie del terreno con rocas expuestas sin desarrollo de vegetación
2130	Arena	Áreas de superficie del terreno cubiertas por material de pequeños granos minerales desprendidos de las rocas y se acumulan en playas, márgenes de ríos, o dunas.
2140	Zonas quemadas	Áreas de superficie de la tierra desprovistas de vegetación por efecto de fuego de origen natural o antrópico
2150	Ceniza volcánica	Áreas de la superficie terrestre cubiertas con ceniza proveniente de la actividad volcánica
2200	Infraestructuras	Áreas cubiertas con instalaciones construidas por el ser humano
2210	Techo	Áreas de la superficie de la tierra en donde se han construidos casas, edificios, u otras instalaciones a las cuales se les ha colocado una cubierta de metal u otro material impermeable.
2220	Superficie pavimentada	Áreas de la superficie de la tierra en que el ser humano ha cubierto con capa lisa dura y resistente de asfalto, cemento, madera, adoquines u otros materiales.
2230	Superficie no pavimentada	Áreas de la superficie de la tierra utilizadas por el ser humano pero que no poseen una cubierta resistente de asfalto, cemento, madera, o adoquines, tales como caminos u otras instalaciones de tierra o lastre.
2240	Otras superficies	Otras áreas sin cobertura vegetal que forman parte de instalaciones construidas por el ser humano.
3000	Agua	Superficie cubierta con un espejo de agua
3100	Aguas continentales	Superficie cubierta con un espejo de agua dentro del espacio continental sin influencia de aguas marítimas
3200	Aguas Marítimas	Superficie cubierta con un espejo de agua dentro del espacio continental con influencia de aguas marítimas.
4000	Nubes y sombras	Áreas en las que no es posible determinar la cobertura por efecto de la presencia de nubes, sombras de nubes u otras sombras del terreno en la imagen satelital o fotografía aérea.
4100	Nubes	Áreas en las que no es posible determinar la cobertura por efecto de la presencia de nubes en la imagen.
4200	Sombras de nubes	Áreas en las que no es posible determinar la cobertura por efecto de la presencia de sombras de nubes en la imagen utilizada.
4300	Otras sombras	Áreas en las que no es posible determinar la cobertura por efecto de la presencia de sombras del terreno en la imagen utilizada.
5000	Sin información	Áreas de la superficie terrestre de las cuáles no se posee información disponible.

### Anexo 3. Adaptación del uso del suelo de la FAO (Land use/cover classification).

Código	Clase	Descripción
FEF	Bosque primario siempre verde	Bosque siempre verde con especies nativas donde no hay evidencia visible de actividades humanas y el proceso ecológico no ha sido perturbado significativamente.
FEM	Bosque secundario maduro siempre verde	Bosque siempre verde donde hay evidencia visible de actividades humanas; la mayoría de los árboles han alcanzado su madurez.
FEY	Bosque secundario joven siempre verde	Bosque siempre verde donde hay evidencia visible de actividades humanas; la mayoría de los árboles son juveniles o están en crecimiento.
FDP	Bosque primario decíduo	Bosque decíduo con especies nativas donde no hay evidencia visible de actividades humanas y el proceso ecológico no ha sido perturbado significativamente.
FDM	Bosque secundario maduro decíduo	Bosque decíduo donde hay evidencia visible de actividades humanas; la mayoría de los árboles han alcanzado su madurez.
FDY	Bosque secundario joven decíduo	Bosque decíduo donde hay evidencia visible de actividades humanas; la mayoría de los árboles son juveniles o están en crecimiento.
FSP	Bosque primario semi-decíduo	Bosque semi-decíduo con especies nativas donde no hay evidencia visible de actividades humanas y el proceso ecológico no ha sido perturbado significativamente.
FSM	Bosque secundario maduro semi-decíduo	Bosque semi-decíduo donde hay evidencia visible de actividades humanas; la mayoría de los árboles han alcanzado su madurez.
FSY	Bosque secundario joven semi-decíduo	Bosque semi-decíduo donde hay evidencia visible de actividades humanas; la mayoría de los árboles son juveniles o están en crecimiento.
FB	Bambusal	Regeneración natural donde predomina la vegetación de bambú.
FR	Yolillales	Regeneración natural de bosque con predominio de palma y rafia.
FPB	Plantaciones forestales de hoja ancha	Plantación forestal compuesta por más del 75% de especies de hoja ancha.
FPC	Plantaciones forestales de coníferas	Plantación forestal compuesta por más del 75% de especies de coníferas.
FPM	Plantaciones forestales mixtas	Plantación forestal compuesta por al menos un 25% cada una de especies de hoja ancha o coníferas.
WS	Arbustos	Terreno con cobertura de dosel de arbustos $\geq 10\%$ , o cobertura combinada entre arbustos y árboles $\geq 10\%$ . Los arbustos son plantas perennes leñosas con menos de 5 m de altura en su madurez in situ. Con una cobertura de dosel de árboles menor al 5% (los árboles son plantas perennes leñosas con más de 5 m de altura en su madurez in situ).
WG	Pastos arbolados	Terreno cubierto por pastos naturales o introducidos con algunos árboles dispersos con una cobertura de dosel que varía entre un 10% y un 30%.
WW	Tierras húmedas con árboles	Terrenos temporal o permanentemente cubiertos por agua con crecimiento natural de gramíneas, vegetación herbácea y algunos árboles dispersos (cobertura de dosel entre 5 y 10%).
OX	Terreno descubierto	Terrenos con cobertura de vegetación menor al 2%. Incluye terrenos cubiertos por arena, suelo y rocas.
OG	Pastos naturales	Terreno cubierto por el crecimiento natural de gramíneas y vegetación herbácea.
OM	Pantano	Terreno temporal o permanentemente cubierto por agua y dominado por el crecimiento natural de gramíneas y otras herbáceas.
OP	Pastos mejorados	Terreno cubierto por pastos naturales o introducidos para el pastoreo de ganado.
OCA	Cultivos anuales	Área cubierta por cultivos que son sembrados y cosechados durante la misma época de producción (1 año).
OCP	Cultivos perennes	Cultivos que son sembrados o plantados una vez y no necesitan ser replantados después de cada cosecha anual. Incluye árboles frutales, arbustos (café), palmas, viñas (uvas), musáceas, (no se incluye la piña para este caso en Costa Rica dada la variedad que se cultiva).
OCM	Cultivos mixtos	Asociación de cultivos anuales y perennes.

<b>OF</b>	Tierras en barbecho	Terreno anteriormente cultivado que se mantiene libre de cultivos y malezas durante al menos una temporada de crecimiento, donde la vegetación leñosa no supera los 5 m de altura.
<b>OW</b>	Lote de madera	Área que abarca entre 0,2 y 0,5 ha, con árboles mayores a 5 m de altura en su madurez. Mayormente utilizado para el almacenamiento de madera.
<b>OB</b>	Infraestructura	Zonas pobladas con construcciones significativas que incluyen casas dispersas en el campo. Notas: una carretera se considera como infraestructura si es más ancha que 15 metros (desde un extremo al otro) y si no, es un camino forestal.
<b>OQ</b>	Zona de extracción minera	Áreas utilizadas para la extracción de minerales, piedras arena y arcilla. Incluye canteras, minería, áreas de extracción y pozos de gas o aceite.
<b>IRP</b>	Río permanente	Ríos con un ancho mayor o igual a 15 m que mantienen el cauce con agua durante todo el año.
<b>IRS</b>	Río intermitente	Ríos con un ancho mayor o igual a 15 m que fluye solo en ciertas épocas del año.
<b>IL</b>	Lago	Cuerpo de agua dulce o salada rodeado por tierra.
<b>ID</b>	Represa	Reservorio creado por una barrera construida para mantener y aumentar el nivel del agua.
<b>IP</b>	Estanque	Cuerpo pequeño de agua en reposo formada de manera natural, por ahuecamientos o deslizamientos.
<b>XC</b>	Zona fuera del país	Punto de muestreo ubicado fuera de los límites del país.
<b>XO</b>	Mar	Punto de muestreo ubicado en el océano o en el mar.
<b>90</b>	Desconocido	Uso no identificado.

### Anexo 4. Formulario para la digitación y procesamiento de datos de campo.

digitacion\_datos\_v1 - Excel

Archivo Inicio Insertar Diseño de página Fórmulas Datos Revisar Vista ¿Qué desea hacer?

Cortar Copiar Pegar Copiar formato Portapapeles Fuente Alineación Número Estilos

Calibri 11 A A Ajustar texto General Formato condicional Dar formato como tabla

Normal Bueno Incorrecto Neutral Celda de co... Celda vinculada Entrada Notas

Q7

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	ID	X_CRTM05	Y_CRTM05	ALTITUD (m)	ERROR (m) (+/-)	DIST (m)	AZIMUT	COBERTURA SIMOCUTE	USO FAO	N_USO	F_RADIANES	X_REPROYECTADA	Y_REPROYECTADA	FOTO	OBS	GIRA
2	1					0					0,00	0,000	0			
3	1,1					50					0,00	0,000	50			
4	1,2					100					0,00	0,000	100			
5	1,3					150					0,00	0,000	150			
6	1,4					50					0,00	0,000	50			
7	1,5					100					0,00	0,000	100			
8	1,6					150					0,00	0,000	150			
9	2					0					0,00	0,000	0			
10	2,1					50					0,00	0,000	50			
11	2,2					100					0,00	0,000	100			
12	2,3					150					0,00	0,000	150			
13	2,4					50					0,00	0,000	50			
14	2,5					100					0,00	0,000	100			
15	2,6					150					0,00	0,000	150			

## VII. REFERENCIAS

- Centro Nacional de Información Geoambiental (CENIGA). (2018). *Sistema de Definición de Clases de los Usos y Coberturas de la Tierra de Costa Rica*. San José.
- Chuvieco, E. (2010). *Teledetección ambiental: La observación de la Tierra desde el espacio*. Barcelona, España: Ariel S.A.
- Cingolani, A., Noy-Meir, I., Renison, D., & Cabido, M. (2008). La aganadería extensiva, ¿es compatible con la conservación de la biodiversidad y de los suelos? *Ecología Austral*, 253-271.
- Conde, M., Perelman, S., & Cerezo, A. (2009). Efecto de diferentes métodos de clasificación de imágenes satelitales sobre índices de paisaje. *Revista de Teledetección*, 5-13. Obtenido de Res.
- European Space Agency (ESA). (2015). *Sentinel-2 Products Specification Document*. Obtenido de [https://sentinel.esa.int/documents/247904/349490/S2\\_MSI\\_Product\\_Specification.pdf](https://sentinel.esa.int/documents/247904/349490/S2_MSI_Product_Specification.pdf)
- FAO. (2012). *National Forest Monitoring and Assessment – Manual for integrated field data collection*. Roma.
- FAO. (2016). *Land Cover Classification System*. Obtenido de <http://www.fao.org/3/a-i5232e.pdf>
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2009). *La larga sombra del ganado problemas ambientales y opciones*. Obtenido de <http://www.fao.org/3/a-a0701s.pdf>
- Garita, P., & Pardo, C. (2017). *Estudio de Caracterización de Cantones Provincia de Limón*. Obtenido de <https://www.cunlimon.ac.cr/images/Est-caracterizacion-Cantones-Limon-2017%20.pdf>

- Inder . (2015). *Plan de Desarrollo Rural Territorial Liberia - La Cruz*. Obtenido de [https://www.inder.go.cr/territorios\\_inder/region\\_chorotega/planes\\_desarrollo/PTDR-Liberia-La-Cruz.pdf](https://www.inder.go.cr/territorios_inder/region_chorotega/planes_desarrollo/PTDR-Liberia-La-Cruz.pdf)
- Inder. (2014). *Caracterización del Territorio Inder Liberia-La Cruz*. Obtenido de [https://www.inder.go.cr/territorios\\_inder/region\\_chorotega/caracterizaciones/Caracterizacion-Territorio-Liberia-LaCruz.pdf](https://www.inder.go.cr/territorios_inder/region_chorotega/caracterizaciones/Caracterizacion-Territorio-Liberia-LaCruz.pdf)
- Inder. (2014). *Informe de caracterización básica, territorio sur bajo (Corredores, Golfito, Osa)*. Obtenido de [https://www.inder.go.cr/territorios\\_inder/region\\_brunca/caracterizaciones/Caracterizacion-Osa-Corredores-Golfito.pdf](https://www.inder.go.cr/territorios_inder/region_brunca/caracterizaciones/Caracterizacion-Osa-Corredores-Golfito.pdf)
- Inder. (2014). *Informe de Caracterización Integral Básica Del Territorio Pococí*.
- Inder. (2015). *Caracterización del territorio Orotina-San Mateo-Esparza*. Obtenido de [https://www.inder.go.cr/territorios\\_inder/region\\_pacifico\\_central/caracterizaciones/Caracterizacion-Orotina-SanMateo-Esparza.pdf](https://www.inder.go.cr/territorios_inder/region_pacifico_central/caracterizaciones/Caracterizacion-Orotina-SanMateo-Esparza.pdf)
- Inder. (2015). *Caracterización del Territorio Siquirres - Guácimo*. Obtenido de [https://www.inder.go.cr/territorios\\_inder/region\\_huetar\\_caribe/caracterizaciones/Caracterizacion-Siquirres-Guacimo.pdf](https://www.inder.go.cr/territorios_inder/region_huetar_caribe/caracterizaciones/Caracterizacion-Siquirres-Guacimo.pdf)
- Inder. (2016). *Plan de Desarrollo Rural Territorial 2016-2021*. Obtenido de [https://www.inder.go.cr/territorios\\_inder/region\\_chorotega/planes\\_desarrollo/PDRT-Nandayure-Hojancha-Nicoya.pdf](https://www.inder.go.cr/territorios_inder/region_chorotega/planes_desarrollo/PDRT-Nandayure-Hojancha-Nicoya.pdf)
- INEC. (2011). *Censo 2011. Población total por zona, según provincia, cantón y distrito*. Obtenido de <http://www.inec.go.cr/censos/censos-2011>
- INEC. (2011). *Censo Nacional de Población y Vivienda*. Obtenido de <http://www.inec.go.cr/sites/default/files/documentos/poblacion/estadisticas/resultados/replaccenso2011-01.pdf>

<p style="text-align: center;">CONSERVANDO LA BIODIVERSIDAD POR MEDIO DEL MANEJO SOSTENIBLE DE PAISAJES PRODUCTIVOS EN COSTA RICA – MOCUPP PASTOS SIN ÁRBOLES DE COSTA RICA</p>	Informe N°: 1
	Cultivo: Pastos sin árboles Costa Rica
	Fecha: 14/10/2019
	Página 84 de 86

INEC. (2015). *VI Censo Nacional Agropecuario. Características de las fincas y de las personas productoras*. Obtenido de <http://www.inec.go.cr/sites/default/files/documentos/agropecuario/publicaciones/reagropeccenagro2014-ti-006.pdf>

INEC. (2015). *VI Censo Nacional Agropecuario Resultados Generales*. Obtenido de <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/U40-10581.pdf>

Instituto de Desarrollo Rural (Inder). (2015). *Informe de Caracterización Básica, Territorio Abangares-Cañas-Bagaces-Tilarán*. Obtenido de [https://www.inder.go.cr/territorios\\_inder/region\\_chorotega/caracterizaciones/Caracterizacion-Abangares-Canas-Bagaces-Tilaran.pdf](https://www.inder.go.cr/territorios_inder/region_chorotega/caracterizaciones/Caracterizacion-Abangares-Canas-Bagaces-Tilaran.pdf)

Instituto Nacional de Biodiversidad (INBio). (2012). *Contrato de Realización de los Diseños del Proyecto Específico de Senderización y Aprovechamiento Turístico Sostenible con Participación Comunitaria en el Refugio Nacional de Vida Silvestre Gandoca – Manzanillo*.

Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2015). *VI Censo Nacional Agropecuario: Resultados Generales*. Obtenido de <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/U40-10581.pdf>

Liu, Y., Guo, Q., & Kelly, M. (2008). A framework of region-based spatial relations for non-overlapping features and its application in object based image analysis. *Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 461-475. doi:doi:10.1016/j.isprsjprs.2008.01.007

MIDEPLAN. (2009). *Costa Rica: Estadísticas Regionales 2001 - 2008*. Obtenido de <http://www.pvolcan2.odd.ucr.ac.cr/wp-content/uploads/2011/07/Costa-Rica-Estadisticas-Regionales-2001-2008.pdf>

MIDEPLAN. (2014). *Región Central. Plan de Desarrollo 2030*. Obtenido de <http://www.sia.eurosocial-ii.eu/files/docs/1400674771-Region%20Central.pdf>



<p style="text-align: center;">CONSERVANDO LA BIODIVERSIDAD POR MEDIO DEL MANEJO SOSTENIBLE DE PAISAJES PRODUCTIVOS EN COSTA RICA – MOCUPP PASTOS SIN ÁRBOLES DE COSTA RICA</p>	Informe N°: 1
	Cultivo: Pastos sin árboles Costa Rica
	Fecha: 14/10/2019
	Página 85 de 86

MIDEPLAN. (2014). *Región Huetar Norte. Plan de Desarrollo 2030*. Obtenido de <http://sia.eurosocial-ii.eu/files/docs/1400675065-Region%20Huetar%20Norte.pdf>

MIDEPLAN. (2014). *Región Pacífico Central Plan de Desarrollo 2030*. Obtenido de <http://sia.eurosocial-ii.eu/files/docs/1400675126-Region%20Pacifico%20Central.pdf>

Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica (MIDEPLAN). (2009). *Costa Rica: Estadísticas Regionales 2001 - 2008*. Obtenido de <http://www.pvolcan2.odd.ucr.ac.cr/wp-content/uploads/2011/07/Costa-Rica-Estadisticas-Regionales-2001-2008.pdf>

Murillo, W., & Miranda, M. (2018). Rehabilitación de ecosistemas de humedal como medida de adaptación a los impactos de la variabilidad climática: El caso del sitio Ramsar Palo Verde, sector Catalina. *Ambientico*, 50-57.

Neubert, M., & Meinel, G. (2003). *EVALUATION OF SEGMENTATION PROGRAMS FOR HIGH RESOLUTION REMOTE SENSING APPLICATIONS*. Obtenido de [http://www.ecognition.com/sites/default/files/356\\_neubert.pdf](http://www.ecognition.com/sites/default/files/356_neubert.pdf)

Schiewe, J. (2012). *SEGMENTATION OF HIGH-RESOLUTION REMOTELY SENSED DATA - CONCEPTS, APPLICATIONS AND PROBLEMS*. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/228742331\\_Segmentation\\_of\\_high-resolution\\_remotely\\_sensed\\_data\\_-\\_Concepts\\_applications\\_and\\_problems](https://www.researchgate.net/publication/228742331_Segmentation_of_high-resolution_remotely_sensed_data_-_Concepts_applications_and_problems) Researchgate:

SINAC. (2012). *Plan de Manejo del Parque Internacional La Amistad Talamanca*.

SINAC. (2014). *Proyecto Fortalecimiento del Programa de Turismo en Áreas Silvestre Protegidas. Plan de Turismo Sostenible Parque Nacional Tortuguero (PNT)*. Obtenido de <http://www.sinac.go.cr/ES/transprncia/Planificacin%20y%20Gestin%20BID/Gesti%C3%B3n%20Sostenible%20del%20Turismo%20en%20ASP/Planes>



<p>CONSERVANDO LA BIODIVERSIDAD POR MEDIO DEL MANEJO SOSTENIBLE DE  PAISAJES PRODUCTIVOS EN COSTA RICA – MOCUPP  PASTOS SIN ÁRBOLES DE COSTA RICA</p>	Informe N°: 1
	Cultivo: Pastos sin árboles Costa Rica
	Fecha: 14/10/2019
	Página 86 de 86

%20de%20Turismo%2010%20ASP/Plan%20de%20Turismo%20Sostenible  
%20del%20PN%20Tortuguero.pdf

SINAC. (2014). *Proyecto Fortalecimiento del Programa de Turismo en Áreas Silvestres Protegidas Plan de Turismo Sostenible del Parque Nacional Corcovado*. Obtenido de <http://www.sinac.go.cr/ES/transprncia/Planificacin%20y%20Gestin%20BID/Gesti%C3%B3n%20Sostenible%20del%20Turismo%20en%20ASP/Planes%20de%20Turismo%2010%20ASP/Plan%20de%20Turismo%20Sostenible%20del%20PN%20Corcovado.pdf>

SINAC. (2017). *Actualización Plan General de Manejo Refugio Nacional de Vida Silvestre Barra del Colorado*. Obtenido de [http://www.sinac.go.cr/ES/publicaciones/Lecciones%20aprendidas/PlanGeneralManejoRNVSBC\(Versión%20Completa%20Web\).pdf](http://www.sinac.go.cr/ES/publicaciones/Lecciones%20aprendidas/PlanGeneralManejoRNVSBC(Versión%20Completa%20Web).pdf)

Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC) – Programa REDD-CCAD-GIZ. (2015). *Cartografía base para el Inventario Forestal Nacional de Costa Rica 2013-2014*.

Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC). (2018). *Plan Institucional de Capacitación*.

United States Geological Survey . (2013). *Landsat Project Description*. Obtenido de [http://landsat7.usgs.gov/about\\_project\\_descriptions.php](http://landsat7.usgs.gov/about_project_descriptions.php)

Zevallos, E. (2013). *Agenda de Competitividad para la Región Huetar Norte: Caracterización Socioeconómica de la Región Huetar Norte*. Obtenido de <https://www.munisc.go.cr/Documentos/NuestraMunicipalidad/Caracterizaci%C3%B3n%20Socioecon%C3%B3mica%20de%20la%20Regi%C3%B3n%20Huetar%20Norte.pdf>

