

Ilustración 1. Fotografía de la Palma de Cera en Cajamarca.



Nota. Fotografía tomada por el equipo de la SPADS.
Fuente: CORTOLIMA (2025)

Documento Técnico soporte del Censo de la Palma de Cera del Quindío (*Ceroxylon Quindiuense*), para Cañón de Anaimé y Roncesvalles en el Tolima.

COMITÉ DIRECTIVO

CORTOLIMA

Dra. OLGA LUCIA ALFONSO IANNINI
Directora General CORTOLIMA

Dr. WILBER JAIRO VALLEJO BOCANEGRA
Asesor Dirección General

Dr. CAMILO ANDRES ROCHA ROMERO
Asesor Dirección General

Dra. OMAIRA PATRICIA AVILÉS PINEDA
Asesora Dirección General

Dr. ROBINSON OCHOA MORENO
Jefe Oficina Asesora de Planeación Institucional y Direccionamiento Estratégico

Ing. KATHERINNE SILVA GARIBELLO
Jefa de Oficina Control Interno a la Gestión

Ing ANDRÉS FELIPE OLIVEROS DIAZ
Jefe Oficina Asesora de Direccionamiento Estratégico TIC

Dra. CLAUDIA ALEJANDRA LOZANO DIAZ
Jefa Oficina Asesora de Relacionamento Institucional

Dra. ROSA JIMENA VERGARA CRUZ
Jefa Oficina Asesora Territorial

Dra. VIVIAN MARCELA SILVA SERRATO
Jefa Oficina Asesora de Control Interno Disciplinario – Instrucción

Dr. HÉCTOR YESID RAMÍREZ HERNÁNDEZ
Jefe Oficina Asesora de Control Interno Disciplinario - Juzgamiento

Dr. JUAN CARLOS GUZMÁN CORTÉS
Subdirector Jurídico

Ing. JAISSNEY ALEXANDRA OSPINA MALAGÓN
Subdirectora de Administración de Recursos Naturales

Dr. GUILLERMO AUGUSTO VALLEJO FRANCO
Subdirector de Desarrollo Ambiental Sostenible

Ing. CLAUDIA PAOLA MUÑOZ BARRETO
Subdirectora de Planificación Ambiental y Desarrollo Sostenible

Dra. DANYS JAZMIN ESPINOSA RAMIREZ
Subdirectora Administrativa y Financiera

Dra. ANGÉLICA MARÍA VALENCIA BONILLA
Jefe de Oficina de Contratación

Dra. LUCERO ELVIRA CAMPOS MOLANO
Jefe Oficina Territorial Sur

Ing. SERGIO ALEJANDRO SERRANO PÉREZ
Jefe Oficina Territorial Oriente

Dr. OSCAR EDUARDO TAFUR VILLAREAL
Jefe Oficina Territorial Sur Oriente

Dr. JUAN CARLOS CASTAÑEDA NARVAEZ
Jefe Oficina Territorial Norte

CONSEJO DIRECTIVO DE CORTOLIMA

Dra. ADRIANA MAGALY MATIZ VARGAS.

Gobernadora del Departamento del Tolima

Dr. JORGE MARIO VERA RODRÍGUEZ.

Delegado Presidencia de la República

Dr. JESÚS ANTONIO CASTRO GONZALES.

Delegado Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

Dra. ASTRID PAVA YARA.

Representante Entidades Territoriales - Alcalde Municipal de Natagaima.

Dr. MARCO TULIO VELÁSQUEZ PULIDO.

Representante Entidades Territoriales - Alcalde Municipal de Ambalema.

Dr. RICARDO ANDRÉS ACOSTA SALAS.

Representante Entidades Territoriales - Alcalde Municipal de San Luis.

Dr. JHON ANDERSON BONILLA CORTES.

Representante Entidades Territoriales - Alcalde Municipal Valle de San Juan

Dr. JUAN ERNESTO SÁNCHEZ BARRETO.

Representante Sector Privado

Dr. HÉCTOR ROJAS MENDOZA.

Representante Sector Privado

Sr. JOSÉ ALFREDO CAPERA RODRÍGUEZ.

Representante Comunidades Indígenas

Dr. GUILLERMO ANDRÉS ROJAS MOLINA.

Representante Entidades sin Ánimo de Lucro

Dr. LUÍS FERNANDO POPAYÁN ALVARADO.

Representante Entidades sin Ánimo de Lucro

EQUIPO TÉCNICO

SUBDIRECCIÓN PLANIFICACIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE

CLAUDIA PAOLA MUÑOZ BARRETO

Subdirectora Planificación Ambiental y Desarrollo Sostenible

CARLOS EDUARDO MEJÍA

Coordinador Conservación de la Biodiversidad y Áreas Protegidas

JUDY LORENA ÁLZATE GUTIÉRREZ

Profesional Especializada –Ing. Forestal.

DANIELA OYOLA GUTIÉRREZ

Ingeniera en Agroecología
Contratista

YULIANA C. OSPINA JIMÉNEZ

Administradora Ambiental - Magister
Contratista

Contenido

| | |
|--|-----------|
| PRESENTACIÓN | 9 |
| INTRODUCCIÓN..... | 11 |
| 1. ANTECEDENTES..... | 13 |
| 1.1. A NIVEL NACIONAL..... | 13 |
| 1.2. A NIVEL REGIONAL DEL TOLIMA..... | 15 |
| 2. JUSTIFICACIÓN..... | 18 |
| 3. MARCO NORMATIVO | 22 |
| 4. GENERALIDADES DE LA PALMA DE CERA | 27 |
| 4.1. SERVICIOS ECOSISTÉMICOS ASOCIADOS A LA PALMA DE CERA..... | 28 |
| 4.1.1. Servicios de Soporte y Regulación. | 28 |
| 4.1.2. Servicio de Aprovisionamiento. | 30 |
| 4.1.3. Servicios Culturales. | 30 |
| 4.2. LOCALIZACIÓN DE POBLACIONES DE PALMA DE CERA EN LA CORDILLERA CENTRAL SOBRE EL DEPARTAMENTO DEL TOLIMA. | 31 |
| 4.2.1. Toche – La Ceja Tolima..... | 32 |
| 4.2.2. Anaimé – Tolima. | 33 |
| 4.1.3. Roncesvalles – Tolima..... | 33 |
| 4.2. ENFERMEDAD DE LA PALMA DE CERA. | 34 |
| 5. METODOLOGÍA DE TRABAJO | 37 |
| 5.1. DISEÑO Y DESARROLLO METODOLÓGICO | 37 |
| 5.1.1. Fase de Caracterización. | 38 |
| 5.1.2. Fase Evaluativa. | 57 |
| 5.1.3. Fase Propositiva. | 59 |
| 5.2. ALCANCE..... | 60 |
| 5.3. ÁREA DE ESTUDIO | 61 |
| 6. RESULTADOS..... | 65 |
| 6.1. RESULTADOS FASE DE CARACTERIZACIÓN..... | 71 |
| CONCLUSIONES..... | 85 |
| RECOMENDACIONES | 87 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 89 |

Listado de Figuras

| | |
|---|-----------|
| Figura 1. Localización de poblaciones de palma de cera en la cordillera Central. | 31 |
| Figura 2. Mosaico Satelital RGB y en Falso Color | 45 |
| Figura 3. Modelo de aprendizaje profundo en ArcGIS Pro en un entrenamiento previo. | 45 |
| Figura 4. Ejemplo de etiquetado de imágenes en un entrenamiento previo. | 47 |
| Figura 5. Identificación de Palmas aisladas en un ejercicio de entrenamiento previo. | 48 |
| Figura 6. Exportación de datos de entrenamiento..... | 48 |
| Figura 7. Datos finales para le exportación de la información. | 50 |
| Figura 8. Diferencias en los resultados del Modelo MaskRCNN y el Moldeo DETReg PASCAL para identificación de palmas..... | 51 |
| Figura 9. Introducción de datos con DETreg PASCAL. | 52 |
| Figura 10. Resultados proceso de conteo de palmares por DETreg PASCAL..... | 53 |
| Figura 11. Introducción de datos con MaskRCNN..... | 55 |
| Figura 12. Resultados proceso de conteo de palmares por Mask R-CNN..... | 55 |
| Figura 13. Esquema de parcela circular anidada en Bosque Denso | 58 |
| Figura 14. Aplicación de Matriz DAFO | 59 |
| Figura 15. Área de estudio – Vereda La Ceja (Municipio de Cajamarca)..... | 62 |
| Figura 16. Área de Estudio Cañón de Anaime | 63 |
| Figura 15. Individuos de Ceroxylon Quinduense identificadas en el Sector de Anaime | 69 |
| Figura 16. Individuos de Ceroxylon Quinduense identificadas en el Sector de Anaime | 70 |

Listado de Ilustraciones

| | |
|--|-----------|
| Ilustración 1. Fotografía de la Palma de Cera en Cajamarca..... | 1 |
| Ilustración 2. Bosque de Palma de Cera en Roncesvalles. | 10 |
| Ilustración 3. Palmares de cera en Roncesvalles - Tolima. | 12 |
| Ilustración 4. Bosque de Palma de Cera en Roncesvalles. | 26 |
| Ilustración 5. Palmares de Cera en Cajamarca. | 36 |
| Ilustración 6. Bosque de Palma de Cera en Cajamarca. | 64 |

Listado de Tablas

| | |
|---|-----------|
| Tabla 1. Fases del diseño metodológico. | 37 |
| Tabla 2. Resumen de productos | 43 |
| Tabla 3. Tipos de Modelos en el sector de Anaime | 65 |
| Tabla 4. Tipos de Modelos en el sector de La Ceja | 66 |
| Tabla 5. Valores obtenidos por clase y modelo | 67 |
| Tabla 6. Análisis de contenido resultados de estimación de la densidad poblacional de Palma de Cera en Toche y San Juanito. | 71 |

Listado de Siglas

CDB: Convenio de Diversidad Biológica.

CORTOLIMA: Corporación Autónoma Regional del Tolima.

IAvH: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt

INVEMAR: Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andrés.

MINAMBIENTE: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

MAVDT: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

m s. n. m. Metros sobre el nivel del mar

SINA: Sistema Nacional Ambiental

SINCHII: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas.

Presentación

Con miras a garantizar la protección de la biodiversidad y los ecosistemas estratégicos de la región del Tolima, específicamente la Palma de Cera del Quindío (*Ceroxylon quindiuense*), considerada una especie forestal reconocida por su gran importancia histórica, al ser designada como árbol insignia y símbolo patrio nacional; por su riqueza ecológica, cumpliendo funciones fundamentales en zonas de bosque altoandino principalmente para el equilibrio de los ecosistemas y algunas especies asociadas que se encuentran en alguna categoría de vulnerabilidad.

En la actualidad, la palma de cera se encuentra amenazada cada día por diferentes situaciones, como la deforestación, relacionada principalmente por el aumento de la frontera agrícola para cafetales, cultivos de aguacate y arracacha, incremento del área para pastoreo extensivo e intensivo; la intervención humana para la elaboración de ramos para la semana santa, antorchas y velas, patógenos, incendios forestales y el aumento de rayos solares que afectan su reproducción.

Dada su gran afectación y complejidad para la conservación, desde el 2014 fue incluida como una especie amenazada en categoría de peligro “EN”, enfrentando un riesgo de extinción muy alto en estado de vida silvestre, manteniéndose en esta vulnerabilidad a la fecha.

En ese sentido, la Corporación Autónoma Regional del Tolima - CORTOLIMA, con el propósito de establecer nuevas acciones para intervenir la afectación de esta especie en el Tolima, inicia la revisión de información secundaria y compilación de información primaria para la cuantificación de la palma de cera que existen en el territorio, por lo cual, el presente documento técnico tiene como objetivo realizar el censo de palmares en tres (3) zonas del Tolima (Toche – La Ceja, Cañón de Anaimé y Roncesvalles), en las cuales se considera existe la mayor densidad poblacional de esta especie para la región, con el fin de poder contar con la información real de palma de cera en el departamento, para establecer nuevas medidas de control y protección para su conservación.

Ilustración 2. *Bosque de Palma de Cera en Roncesvalles.*



Nota. Fotografía tomada por el equipo técnico de la SPADS. Fuente: CORTOLIMA

Introducción

La Palma de Cera, por su nombre científico *Ceroxylon quindiuense*, tiene una distribución altitudinal entre los 1,600 y 3,000 m s. n. m., su nombre alude a su localización en el departamento del Quindío, sin embargo, en Colombia esta palma se extiende desde Tenerife, Valle del Cauca, hasta los alrededores de Yarumal, Antioquia, sobre las dos (2) vertientes de la cordillera Central; siendo los departamentos del Tolima, Quindío y Caldas, los que más se destacan por la gran densidad de palma que poseen. En el departamento del Tolima este árbol se puede encontrar en pequeños relictos boscosos en los municipios de Ibagué, Cajamarca, Roncesvalles, Anzoátegui y Rioblanco (Reinoso Flórez et al., 2017).

La palma de cera fue declarada árbol nacional de Colombia mediante la Ley 61 de 1985, es considerada una especie emblemática de los Andes colombianos y se reconoce por ser la palma más alta del mundo. Su presencia es fundamental en los ecosistemas de montaña y forma parte del patrimonio natural del país. Además de su valor ecológico, la palma de cera tiene un significado cultural profundo, por ser un símbolo nacional durante siglos ha estado relacionada con diferentes tradiciones locales, en las zonas donde se desarrolla, genera un escenario único de gran belleza paisajística (Galeano & Bernal, 2010).

Sin embargo, el aumento acelerado de la expansión agrícola y la tala indiscriminada, vienen afectando grandes poblaciones de esta especie, al punto de estar catalogada a nivel nacional como una especie amenazada categorizada “EN Peligro” por diferentes actos administrativos del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, atribuyéndole un riesgo de extinción muy alto en estado de vida silvestre.

Dada la necesidad de seguir generando acciones de conservación para la palma de cera en el departamento del Tolima, la Corporación Autónoma Regional del Tolima, apropió recursos financieros para poder realizar el censo de la Palma de Cera en tres (3) zonas geográficas del Tolima: Toche – La Ceja en Ibagué, cañón de Anaime en Cajamarca y Roncesvalles, con el fin de determinar nuevas acciones de control y protección para esta especie y así mismo, dar alcance a una sentencia judicial.

Ilustración 3. *Palmares de cera en Roncesvalles - Tolima.*



Nota. Fotografía tomada por el equipo técnico de la SPADS. **Fuente:** CORTOLIMA (2025)

1. Antecedentes

El Plan de Conservación, manejo y uso sostenible de la Palma de Cera del Quindío (*Ceroxylon quindiuense*), establece para el Tolima tres (3) sitios con presencia de población de Palma de Cera: 1. Toche-La Ceja (Ibagué- Cajamarca), 2. Anaime (Cajamarca), 3. Roncesvalles.

Dentro de las investigaciones alrededor de la Palma de Cera, se encontraron estudios a escala nacional, realizados por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y el Instituto de Investigaciones Alexander Von Humboldt, y a escala regional, desarrollados por la Corporación Autónoma Regional del Tolima – CORTOLIMA, seguidamente se amplían los principales resultados de estos.

1.1. A Nivel Nacional

- **En el 2015, el Plan de conservación, manejo y uso sostenible de la palma de cera del Quindío (*Ceroxylon quindiuense*), árbol nacional de Colombia.**

Este plan aborda la problemática de la especie, que está en peligro de extinción debido a la pérdida de hábitat y la falta de regeneración natural, y define estrategias para asegurar su supervivencia a largo plazo dentro del más amplio plan de conservación, donde nos habla que para el 2025 la Palma de Cera del Quindío estará presente como un ícono en el imaginario colectivo de todos los colombianos, los relictos de bosque en los que crece estarán debidamente conservados y adecuadamente interconectados, los palmares de los potreros están bajo programas de renovación, y estarán establecidas varias áreas protegidas que conservan la palma.

Así mismo, este instrumento enmarca algunas estimaciones de área a partir de la observación de expertos, por ejemplo que los fragmentos de palma ocupan 900 hectáreas (ha) que equivale a un 20% de la cuenca de Toche, lo que siguiendo las densidades planteadas por Girón-Vanderhuck, (1999) de 290-840 palmas/ha ($x= 590$ palmas/ha) y así estimar una cantidad de 510.00 palmas en áreas de bosque sumadas a las 72.000 palmas localizadas en matrices de potreros que cuentan con 1200 ha (densidad de 60 palmas por hectárea).

- **En el 2021, estudio para determinar individuos de Palma de Cera sobre la cuenca del río Tohecito.**

Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt elaboro el estudio de Estado actual de conservación de la población de *Ceroxylon quindiuense* (H.Karst.) H.Wendl. (Arecaceae) en la cuenca del río Tohecito (Tolima) y determinó que la zona alberga más de 200 mil individuos de esta especie. Por ende, se hace indispensable avanzar en los otros puntos de referencia para el departamento del Tolima.

- **En el 2023, Documento con los resultados de la estimación de la densidad poblacional de la especie *Ceroxylon quindiuense*, a partir del análisis de sensores remotos y resultados anteriores.**

Mediante convenio interadministrativo N° CI-975-2023 (23-198) suscrito entre el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos “Alexander von Humboldt”, se realizó la estimación de la densidad de Palma de Cera a través de diferentes sistemas remotos, obteniendo los siguientes resultados:

Producto 1. Documento con la síntesis de la información compilada de literatura y entrevistas a investigadores, concedores u actores relevantes seleccionados y aprobados por el comité técnico, sobre las actividades realizadas para dar cumplimiento al Plan de Acción para la conservación de la palma de cera del Quindío *Ceroxylon quindiuense* (2015), que considere las cuatro líneas de acción que fueron establecidas dentro del Plan: (i) investigación y monitoreo, (ii) conservación, (iii) políticas e instrumentos de gestión y (iv) educación y comunicación.

Producto 3. Mapa en formato tiff. de la distribución actual y potencial de la especie *Ceroxylon quindiuense* que estará disponible en la plataforma Biomodelos (Muñoz-Rodríguez, 2023).

Producto 4. Documento con el análisis del impacto potencial del cambio climático en la distribución futura de la especie *Ceroxylon quindiuense*, considerando aspectos ecológicos y ambientales (Muñoz-Rodríguez, 2023).

Producto 5: Documento con los resultados de la estimación de la densidad poblacional de la especie *Ceroxylon quindiuense*, a partir del análisis de sensores remotos y resultados anteriores (Rojas S. et al, 2023).

Este trabajo tuvo como propósito determinar el número de individuos de *Ceroxylon quindiuense* y su densidad como información base para realizar la evaluación del cumplimiento del Plan de Conservación, manejo y uso sostenible de la palma de cera del Quindío se emplearon métodos como técnicas de sensores remotos, los procedimientos incluyeron el manejo de técnicas de fotogrametría, fotointerpretación, Sistemas de Información geográfica, estadística Machine Learning, en conjunto contribuirá a tomar decisiones bien informadas que promuevan la conservación de la especie (Rojas S. et al, 2023).

Producto 8. Documento con el análisis del cumplimiento del Plan de Acción para la conservación de la palma de cera del Quindío (*Ceroxylon quindiuense*), y propuesta de ajustes, identificando las acciones que requieren continuar con la implementación y proyecciones en el tiempo, formulación de nuevas acciones (de ser necesario) y propuesta de mecanismos que se deben establecer o promover para la articulación por parte de todos los actores, conforme con los resultados de la evaluación de cumplimiento y la información actualizada sobre la ecología, uso y amenazas de la especie, la distribución y estado actual de la especie (Torres-Morales & Nossa-Silva, 2023).

1.2. A nivel regional del Tolima

- **En el 2017, formulación de la propuesta de Plan de Manejo Regional para la Conservación de la Palma de Cera en el Tolima.**

La Corporación Autónoma Regional del Tolima en convenio interadministrativo con la Universidad del Tolima, a través del Grupo de Investigación en Zoología, se consolida el Plan de Manejo Regional para la conservación de Palma de Cera en el Tolima, en este trabajo se calculó la cantidad y densidad de palmas en la Ventana de Toche en parcelas de 0,1 ha. La densidad de palmas adultas estimada en fragmentos de bosques fue de 300 a 400 palmas/ha ($x=350$ palmas) y en áreas de potrero de 50 palmas/ha. Con base en estos datos se estimó el número de palmas en 37.500 dentro de una finca llamada Las Cruces, que tiene aproximadamente 150 ha (100 ha de bosque y 50 ha de potrero).

- **En el 2018, Caracterización de la palma de cera (*Ceroxylon quindiuense*) y de su flora y fauna asociada en tres áreas definidas de la cuenca del río toche en los municipios de Ibagué y Cajamarca – Tolima-fase I año.**

Esta caracterización lo que evaluó fueron los bosques de palma de cera (*Ceroxylon quindiuense*), su fauna y flora asociada en tres (3) áreas (Roncesvalles, Cajamarca, Ibagué) en el departamento del Tolima, identificando las poblaciones y densidad poblacional de *Ceroxylon quindiuense* presentes en las tres áreas, generando información base para la propuesta de rehabilitación, conservación, protección y uso sostenible de las tres áreas definidas.

- **En el 2019, Caracterización de la palma de cera (*Ceroxylon quindiuense*) y su flora y fauna asociada en tres (3) áreas (Roncesvalles, Cajamarca, Ibagué) en el departamento del Tolima.**

En este estudio el grupo de investigación en zoología GIZ –Universidad del Tolima y Corporación Autónoma Regional del Tolima - CORTOLIMA, Evalúa los bosques de Palma de Cera (*Ceroxylon quindiuense*), su fauna y flora asociada en áreas de interés sobre la cuenca del Río Toche en los municipios de Ibagué y Cajamarca-Tolima; obteniendo como resultados el estudio del bosque natural localizado en el área de influencia de la cuenca hidrográfica del río Toche, brindó Información cuantitativa de las especies presentes en las tres áreas de muestreo, donde se registró un total de 39 especies y 25 familias de vegetación arbórea, y 27 especies pertenecientes a 14 familias de vegetación herbácea. Mediante la aplicación de los índices de diversidad y el valor de importancia se reconoció la relevancia de la especie *Ceroxylon quindiuense*.

- **En el 2020, Proyecto: estructura básica requerida para el ordenamiento participativo de la actividad de turismo de naturaleza en la zona de influencia directa del PNN Los Nevados, enfocados en los bosques de Palma de Cera del corregimiento de Toche - Alto Toche municipio de Ibagué, y La Ceja vereda del municipio de Cajamarca departamento del Tolima- fase I Diagnóstico de la Actividad de Turismo municipio de Ibagué y Cajamarca departamento del Tolima**

El objetivo de este proyecto fue incidir en el ordenamiento participativo de la actividad de turismo de naturaleza en la zona de influencia directa del PNN Los Nevados, como parte de una estrategia de intervención local de la alta montaña, con actividades compatibles con el cuidado y conservación de los servicios ecosistémicos que aportan al mejoramiento de la calidad de vida de las poblaciones aledañas al parque, al igual que al desarrollo sostenible regional.

Para lograrlo partieron del desarrollo de un proceso de caracterización y diagnóstico biofísico, social y administrativo, potencial para la generación de actividades de turismo de naturaleza en el municipio de Ibagué, corregimiento de Toche del departamento del Tolima, que se presenta de manera general en este documento.

2. Justificación

Los bosques de Palma de Cera, juegan un papel fundamental para la conservación del ambiente, gracias a un sinnúmero de servicios ecosistémicos que prestan para las comunidades y para la biodiversidad (flora y fauna) asociada a esta especie. Así mismo, contribuye a los procesos naturales como el ciclo de nutrientes y en sus alrededores se genera un espacio natural con una gran belleza escénica y paisajística, propia del ecosistema donde se reproduce, atrayendo a locales y turistas.

Uno de los servicios ecosistémicos de soporte y regulación que brinda la Palma de Cera, se relaciona con el mantenimiento de ciertas especies que se encuentran en algún grado de amenaza y vulnerabilidad, como el loro orejiamarillo (*Ognorhynchus icterotis*) (MADS, 2015), estableciendo una relación ecológica que conlleva a la creación de colonias de nidos de esta especie en peligro de extinción (CORTOLIMA & UT, 2018).

Los palmares, aportan a la protección de especies transitorias y migratorias, específicamente de aves que llegan por temporadas para tener refugio; así mismo, ayudan a la conectividad ecológica y sostenimiento de ecosistemas estratégicos de alta montaña, acogiendo a grandes mamíferos en corredores biológicos de Páramo.

Estos bosques, proveen alimento a diversidad de especies de aves, mamíferos e insectos, quienes consumen sus frutos cuando estos alcanzan la madurez, constituyéndose como una fuente de alimentación para cierta fauna silvestre, principalmente “*mirlas (Turdus spp.)*, *tucanes (Andigena nigrirostris y Aulacorhynchus prasinus)*, *carriquies (Cyanocorax yncas)*, *loros (Hapalopsittaca fuertesii, H. amazonina)* y desde el suelo para *tairas (Eira barbara)*” (MADS, 2015, pág. 23).

A nivel cultural, los bosques de palma de cera, tienen un potencial único para el desarrollo turístico, histórico y patrimonial, el primero gracias a las diferentes zonas naturales que la enmarcan, permiten que las personas puedan disfrutar de la belleza escénica y paisajística, así como actividades relacionadas con el ecoturismo como el senderismo, avistamiento de aves, la interpretación ambiental y caminatas ecológicas. A nivel de tradiciones e identidad cultural, la

Palma de Cera, constituye el árbol insignia nacional (MADS, 2015), De igual forma, los palmares cuentan con una ruta eco turística que llama la atención de los caminantes y deportistas (CORTOLIMA, 2020), así mismo, la zona es atravesada por el Camino Nacional, entendida como: *“La trocha que comunicaba a Ibagué con Cartago en la ruta de Bogotá a Quito, y uno de los principales caminos de mula del país durante más de 200 años, hasta que se abrió la actual carretera en 1930”*. (MADS, 2015, pág. 26), considerada de gran importancia para la recuperación de la memoria histórica del país. En ese orden de ideas, un valor agregado a la conservación de la palma, sería la reconstrucción de este valor histórico para la nación.

La palma de cera crece en uno de los ecosistemas más amenazados en el mundo, como es el de los Bosques de niebla tropicales. Para el caso puntual de esta especie en el territorio colombiano, la disminución del hábitat de la especie se ha relacionado con la expansión de la frontera agropecuaria. Esta afectación del hábitat ha generado, de acuerdo a lo que señalan los especialistas, que las poblaciones de la palma de cera se hayan visto alteradas, dado que en muchos casos se encuentran individuos adultos aislados que son incapaces de reproducirse en zonas abiertas y con pastoreo de ganado.

Culturalmente por muchos años (décadas anteriores), se extraían hojas de palma para elaborar los ramos para la Semana Santa. La combinación de la pérdida de hábitat con el aprovechamiento no sostenible de las hojas de la palma, generaron que la especie declinara sus poblaciones hasta el punto de encontrarse categorizada como en Peligro en el territorio nacional.

Dada la importancia de esta especie para el país fue declarada como Árbol Nacional y Símbolo Patrio de Colombia mediante la Ley 61 de 1985 del Congreso de la República, *“Por la cual se adopta la palma de cera (Ceroxylon Quindiuense) como Árbol Nacional”* y por el grado de afectación e intervención que ha tenido en los últimos años, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, la incluyó como una especie amenazada para Colombia, mediante:

La Resolución 0192 de 2014 “Por la cual se establece el listado de las especies silvestres amenazadas de la diversidad biológica colombiana que se encuentran en el territorio nacional, y se dictan otras disposiciones”. Incluye la palma de cera dentro de la categoría de especies amenazadas en el territorio nacional *“En Peligro (EN)”*.

La Resolución 1912 de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible “*Por la cual se establece el listado de las especies silvestres amenazadas de la diversidad biológica colombiana continental y marino costera que se encuentran en el territorio nacional, y se dictan otras disposiciones*”. Incluye la palma de cera dentro de la categoría de especies amenazadas en el territorio nacional “En Peligro (EN)”.

La Resolución 0126 de 2024 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible “*Por la cual se establece el listado oficial de las especies silvestres amenazadas de la diversidad biológica colombiana continental y marino costera, se actualiza el Comité Coordinador de Categorización de las Especies Silvestres Amenazadas en el territorio nacional y se dictan otras disposiciones*”. Incluye la palma de cera dentro de la categoría de especies amenazadas en el territorio nacional “En Peligro (EN)”, como aquellas que están enfrentando un riesgo de extinción muy alto en estado de vida silvestre

De igual forma, en el año 2015 el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, elaboró el Plan de conservación, manejo y uso sostenible de la palma de cera del Quindío (*Ceroxylon quindiuense*), con el fin de determinar cuáles son las acciones que debían implementarse para contribuir en la protección de esta especie, estableciendo unas acciones para las autoridades ambientales regionales.

Según la ley 99 de 1993 y el decreto 1076 de 2015 (decreto único reglamentario del sector ambiente), las corporaciones autónomas regionales tienen la responsabilidad de proteger y conservar las áreas de interés ambiental y ecosistemas estratégicos dentro de su jurisdicción.

En ese sentido, La Corporación Autónoma Regional del Tolima – CORTOLIMA, en el 2017, mediante convenio interadministrativo con la Universidad del Tolima, elabora el Plan Regional para la Conservación de la Palma de Cera en el departamento, estableciendo tareas puntuales para garantizar el mantenimiento de esta especie, así mismo, dentro de los compromisos establecidos en el Plan de Gestión Ambiental Regional – PGAR 2013 - 2023 y en cumplimiento de las metas establecidas dentro del Plan de Acción del Cuatrienio - PAC 2020 - 2023, *Proyecto 3.3.1. Gestión de la biodiversidad, los ecosistemas y las áreas protegidas del departamento*, con el objetivo de orientar la gestión de conservación de la Biodiversidad, los ecosistemas estratégicos y las áreas protegidas, en el indicador 10: *No Hectáreas Declaradas o*

en proceso de declaración como áreas protegidas. Teniendo en cuenta que la meta del PAC 2020 – 2023, para el cuatrienio es de 2,000 hectáreas declaradas como áreas protegidas, la corporación dará inicio a la primera fase del proceso ruta declaratoria asociada al bosque de Palma de Cera.

Aunque en Colombia y en el Tolima, se han desarrollado diferentes acciones de conservación y protección de la Palma de Cera, estas requieren un compromiso permanente de las instituciones y de las comunidades de base, lo cual es una tarea compleja especialmente con el incremento de la frontera agrícola y ganadera.

Es así, que, en el 2025, se interpone una acción judicial mediante la Acción popular 73001233300020200048200 en contra del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y Otros, en auto del 22 de abril del 2025 en la orden 4 establece que el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y CORTOLIMA deben, de manera coordinada allegar al expediente el censo actualizado de bosques de palmas de cera situados en las tres (3) ubicaciones referidas en el plan de conservación, manejo y uso sostenible de la Palma de Cera del Quindío: Toche-La Ceja, Anaime y Roncesvalles.

A lo cual, en el año 2021 el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt elaboro el estudio de Estado actual de conservación de la población de *Ceroxylon quindiuense* (H.Karst.) H.Wendl. (Arecaceae) en la cuenca del río Tohecito (Tolima) y determino que la zona alberga más de 200 mil individuos de esta especie. Por ende, se hace indispensable avanzar en los otros puntos de referencia para el departamento del Tolima.

Expuesto lo anterior, la necesidad de realizar el censo actualizado de bosques de los bosques palmas de cera situados en el sector de Anaime - Cajamarca para avanzar en el cumplimiento de las políticas y órdenes judiciales de CORTOLIMA, así como seguir ejecutando acciones de protección para la Palma de Cera en la región, justifica el desarrollo del presente documento técnico.

3. Marco Normativo

En este ítem, se describe la legislación a nivel nacional y regional relacionada con la Palma de Cera (*Ceroxylon quindiuense*):

- **Ley 61 de 1985 del Congreso de la República, “Por la cual se adopta la palma de cera (*Ceroxylon Quindiuense*) como Árbol Nacional.”**

Artículo 1º. Declárase como Árbol Nacional y Símbolo Patrio de Colombia a la especie de palma científicamente llamada *Ceroxylon Quindiuense* y comúnmente denominada palma de cera.

Artículo 3º. Prohíbese la tala de la palma de cera bajo sanción penal aplicable en forma de multa, convertible en arresto, en beneficio del municipio donde se haya cometido la infracción de conformidad con el Decreto-Ley 2811 de 1974.

El objetivo principal es asegurar la conservación a largo plazo de las poblaciones de palma de cera de Quindío en Colombia; prohíbe su tala y comercialización. Ordena a las autoridades ambientales proteger y conservar esta especie emblemática.

- **La ley 99 de 1993 “Por la cual se organiza el Sistema Nacional Ambiental”.**

Artículo 31 asigna a las Corporaciones Autónomas Regionales - CAR funciones de administración del medio ambiente y los recursos naturales renovables en su jurisdicción, incluyendo la protección de especies en peligro y la promoción de su conservación.

Artículo 66 establece que corresponde a las CAR la elaboración de estudios e inventarios de flora y fauna silvestre (Ley 99, 1993).

- **Ley 165 de 1994 “Por medio de la cual se aprueba el “Convenio sobre la Diversidad Biológica”, hecho en Río de Janeiro el 5 de junio de 1992”.**

Artículo 8º. CONSERVACIÓN IN SITU. en el ítem c, d, e y f: c) Reglamentará o administrará los recursos biológicos importantes para la conservación de la diversidad biológica, ya sea dentro o fuera de las áreas protegidas, para garantizar su conservación y utilización

sostenible; d) Promoverá la protección de ecosistemas y hábitat naturales y el mantenimiento de poblaciones viables de especies en entornos naturales; e) Promoverá un desarrollo ambientalmente adecuado y sostenible en zonas adyacentes a áreas protegidas, con miras a aumentar la protección de esas zonas; f) Rehabilitará y restaurará ecosistemas degradados y promoverá la recuperación de especies amenazadas, entre otras cosas mediante la elaboración y la aplicación de planes u otras estrategias de ordenación (Ley 165, 1994).

- **La Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos (PNGIBSE) del 2014.**

En el **Eje IV. BIODIVERSIDAD, GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO, TECNOLOGÍA E INFORMACIÓN**, Línea Estratégica 3. Fortalecimiento de procesos de inventario y monitoreo de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos, a través de cartografía a escalas adecuadas, colección y evaluación de componentes, estructuras y funciones de la biodiversidad (MINAMBIENTE, 2014).

- **Plan de Conservación, Manejo y Uso Sostenible de la palma de cera del Quindío (*Ceroxylon quindiuense*) del 2015.**

El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y la Universidad Nacional de Colombia en el año 2015 formularon el Plan de conservación, manejo y uso sostenible de la palma de cera del Quindío (*Ceroxylon quindiuense*), sentó las bases para la protección de la especie Palma de Cera, y los bosques en los que ha sido identificada, mediante un Plan de Acción en la **Línea 1: investigación y monitoreo**, La investigación incluye todas aquellas acciones que buscan ampliar la base de conocimiento de la palma de cera del Quindío, su distribución, el estado de las poblaciones en términos demográficos y fitosanitarios, su estructura genética, su ecología y el manejo que recibe por parte de las comunidades. El monitoreo incluye aquellas actividades encaminadas a hacer, mediante la investigación, el seguimiento de las acciones que se establezcan para asegurar la conservación de la especie (MINAMBIENTE, 2015).

Así mismo, se estableció una visión Para el 2025 la palma de cera del Quindío estará presente como un ícono en el imaginario colectivo de todos los colombianos, los relictos de bosque en los que crece estarán debidamente conservados y adecuadamente interconectados, los palmares

de los potreros estarán bajo programas de renovación, y estarán establecidas varias áreas protegidas que conserven la palma (MINAMBIENTE, 2015).

- **La Resolución 0192 de 2014 “Por la cual se establece el listado de las especies silvestres amenazadas de la diversidad biológica colombiana que se encuentran en el territorio nacional, y se dictan otras disposiciones”.**

Establece el listado de las especies silvestres amenazadas de la diversidad biológica colombiana, que se encuentran en el territorio nacional; el cual hará parte integral del presente acto administrativo como un anexo de carácter técnico, siguiendo los criterios de En Peligro Crítico (CR): Aquellas que están enfrentando un riesgo de extinción extremadamente alto en estado de vida silvestre. 2. En Peligro (EN): Aquellas que están enfrentando un riesgo de extinción muy alto en estado de vida silvestre. 3. Vulnerable (VU): Aquellas que están enfrentando un riesgo de extinción alto en estado de vida silvestre; incluye la Palma de Cera dentro de la categoría de especies amenazadas en el territorio nacional “En Peligro (EN)” (Resolución 0192, 2014).

- **Resolución 1912 de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible “Por la cual se establece el listado de las especies silvestres amenazadas de la diversidad biológica colombiana continental y marino costera que se encuentran en el territorio nacional, y se dictan otras disposiciones”.**

Establece el listado oficial de las especies silvestres amenazadas de la diversidad biológica continental y marino costera colombiana, que se encuentran en el territorio nacional, se tendrá en cuenta que una especie amenazada es aquella que se encuentre en Peligro Crítico (CR), En Peligro (EN) y Vulnerable (VU) de acuerdo a las categorías propuestas por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) y haya sido declarada en alguna categoría de estas tres (3) categorías de amenaza por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible; incluye la Palma de Cera dentro de la categoría de especies amenazadas en el territorio nacional “En Peligro (EN)” (Resolución 1912, 2017).

- **Resolución 0126 de 2024 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible “Por la cual se establece el listado oficial de las especies silvestres amenazadas de la diversidad biológica colombiana continental y marino costera, se actualiza el Comité Coordinador**

de Categorización de las Especies Silvestres Amenazadas en el territorio nacional y se dictan otras disposiciones''.

Establece el listado oficial de las especies silvestres amenazadas de la diversidad biológica continental y marino costera, que se encuentran en el territorio nacional, y actualiza la conformación y el funcionamiento del Comité Coordinador de Categorización de las Especies Silvestres Amenazadas en el territorio nacional, como órgano consultivo y asesor del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible; Las especies amenazadas se categorizan: 1. En Peligro Crítico (CR): aquellas que están enfrentando un riesgo de extinción extremadamente alto en estado de vida silvestre. 2. En Peligro (EN): aquellas que están enfrentando un riesgo de extinción muy alto en estado de vida silvestre. 3. Vulnerable (VU): aquellas que están enfrentando un riesgo de extinción alto en estado de vida silvestre. Incluye la palma de cera dentro de la categoría de especies amenazadas en el territorio nacional “En Peligro (EN)” (Resolución 0126, 2024)

- **Acción popular 73001233300020200048200 contra Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y Otros en el 2025.**

En auto del 22 de abril del 2025 en la orden cuarta establece que el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y CORTOLIMA deben, de manera coordinada allegar al expediente el censo actualizado de bosques de palmas de cera situados en las tres (3) ubicaciones referidas en el plan de conservación, manejo y uso sostenible de la Palma de Cera del Quindío: Toche-La Ceja, Anaime y Roncesvalles.

Ilustración 4. *Bosque de Palma de Cera en Roncesvalles.*



Nota. Fotografía tomada por el equipo técnico de la SPADS. Fuente: CORTOLIMA

4. Generalidades de la Palma de Cera

El género *Ceroxylon*, que agrupa a las palmas de cera, pertenece a la tribu *Ceroxyleae* de la sub familia *Ceroxylon ideae*, y comprende 12 especies, distribuidas a lo largo de los Andes desde Venezuela hasta Bolivia, esta especie es más común en la franja entre 2,000 y 3,000 m de elevación, alcanzando su máxima abundancia entre 2,500 m s. n. m., y 2,900 m s. n. m., pero asciende hasta 3,100 m s. n. m., en algunos sectores de la Cordillera Central y desciende hasta 1,550 m s. n. m., en la Cuchilla del Ramo, al oeste de Zapatoca, Santander, en la Cordillera Oriental (MINAMBIENTE, 2015). Dentro del árbol evolutivo de las palmas de cera, *Ceroxylon quindiuense* pertenece a una rama conformada por tres especies cercana mente emparentadas: *C. ceriferum*, de Venezuela y el norte de Colombia; *C. quindiuense*, de Venezuela y Colombia, con una población disyunta en el norte de Perú; y *C. ventricosum*, que crece en Ecuador y el sur de Colombia, justo en el área intermedia entre las poblaciones de *C. quindiuense* de Colombia y Perú (Sanín & Galeano, 2011). Aunque las tres (3) especies se pueden distinguir por algunos caracteres morfológicos, su gran similitud genética sugiere que podría tratarse en realidad de una especie variable a lo largo de su área de distribución (Sanín, 2013) (MINAMBIENTE, 2015).

El *Ceroxylon quindiuense* es una palma de tallo solitario, que usualmente alcanza 20-40 m de altura, aunque algunos individuos alcanzan hasta 52 m, y existe un registro histórico de uno de 60 m (André, 1879). El tallo mide alrededor de 35 cm de diámetro y se adelgaza abruptamente por encima de los 12-18 m de altura, está recubierto por una capa de cera grisácea de poco menos de 1 mm de grueso, debajo de la cual se puede ver en los tallos jóvenes la superficie verde. La corona está formada por 14-20 hojas pinnadas de unos 4 m de largo, que llevan alrededor de 90 pinnas a cada lado del raquis, regularmente distribuidas, colgantes, angostas y de color azuloso, cubiertas por debajo por un grueso tomento de escamas parduscas. Las inflorescencias nacen entre las hojas, están protegidas en la yema por varias brácteas delgadas de color pardo claro, y están ramificadas repetidamente. Las flores son pequeñas y de color blanquecino, con tres sépalos y tres pétalos; las masculinas tienen 9-12 estambres. Los frutos son esféricos, de cerca de 1.8 cm de diámetro y en la madurez son de color rojo-anaranjado, marcados con puntitos negros. Cada fruto lleva una sola semilla, esférica, de color oliváceo y de cerca de 1 cm de diámetro (MINAMBIENTE, 2015).

Las plántulas de esta especie poseen un crecimiento lento y una elevada tasa de mortalidad, por tener gran susceptibilidad a la radiación directa, tienen el meristemo completamente expuesto (durante la primera fase de vida). Posteriormente, cuando la planta tiene hojas más de un (1) m de largo es capaz de resistir la exposición solar y otros factores adversos como la caída de ramas. Una vez los individuos de esta especie logran sobrevivir a estos factores, una palma puede permanecer por más de 120 años (Galeano, Bernal & Sanín, 2015) en (CORTOLIMA & UT, 2019). La palma de cera puede llegar a medir hasta 40 m, aunque se ha visto casos que alcanza hasta los 60 m, categorizándola la planta más alta del mundo (CORTOLIMA & UT, 2018)

4.1. Servicios Ecosistémicos asociados a la Palma de Cera

Según la Política Nacional de Gestión de Integral de la Biodiversidad, “*Los servicios ecosistémicos son los beneficios directos e indirectos que la humanidad recibe de la biodiversidad y que son el resultado de la interacción entre los diferentes componentes, estructuras y funciones que constituyen la biodiversidad*” (MADS, 2014, pág. 32), los principales servicios ecosistémicos que se contemplan son Aprovechamiento, Culturales, Regulación y Soporte.

4.1.1. Servicios de Soporte y Regulación.

Los servicios de regulación son “*los beneficios resultantes de la regulación de los procesos ecosistémicos, incluyendo el mantenimiento de la calidad del aire, la regulación del clima, el control de la erosión, el control de enfermedades humanas y la purificación del agua (MEA 2005)*” (MADS, 2014, pág. 34). De otro lado, los de soporte son “*servicios y procesos ecológicos necesarios para el aprovisionamiento y la existencia de los demás servicios ecosistémicos. Estos servicios se evidencian a escalas de tiempo y espacio mucho más amplias que los demás*” (MADS, 2014, pág. 34)., pues incluyen procesos como la producción primaria, la formación del suelo, la provisión de hábitat para especies, el ciclado de nutrientes, entre otros (MEA 2005) descrito en (MADS, 2014). Frente a los servicios de soporte y regulación, de la Palma de Cera, se encuentran:

- **Hábitat del Loro orejiamarillo:** las palmas de cera ofrecen resguardo a la especie *O. icterotis* y *Leptosittaca branickii*, estas especies de loros establecen sitios de percha, colonias de nidos y zonas de forrajeo en los palmares, además funcionan como fuente de alimento (endospermo de los frutos) (Sanin, 2013) en (CORTOLIMA & UT, 2018), el *O. icterotis* y *Leptosittaca branickii*, este

loro se encuentra en peligro de extinción, “*su relación es tan estrecha con la Palma de Cera, que si esta llegará a desaparecer esta especie de loros, también lo haría*” (MADS, 2015, pág. 3).

-Hábitat de biodiversidad: Las poblaciones de palma de cera se han convertido en el hábitat de una gran variedad de especies, desarrollando estrechas relaciones en todos los sitios en donde crece (CORTOLIMA & UT, 2019). De igual, los Palmares, se convierten en el hábitat de especies migratorias y especies de aves en peligro y de carácter casi endémico, en la parte alta de la zona se encuentra ubicada una Área Importante para la Conservación de Aves – AICA del río Toche, así mismo se ha identificado especies en algún grado de vulnerabilidad y otros transitorias (CORTOLIMA & Universidad de Ibagué, 2019).

- **Aporta al ciclo de nutrientes:** las palmas aportan un alto contenido de hojarasca al suelo del bosque, contribuyendo al ciclo de nutrientes y a las dinámicas naturales del ecosistema (Girón 2001) extraído de (CORTOLIMA & UT, 2019).

-Conservación de ecosistemas y áreas de interés ambiental: los bosques de palma de cera, albergan especies como el oso de anteojos, la danta de paramo y roedores como la guagua y el guatín (CORTOLIMA & UT, 2018, pág. 4), ayudando a la conectividad ecológica y sostenimiento de ecosistemas estratégicos en la parte alta de la subzona hidrográfica del río Coello, aportando a la conservación de la fauna y flora autóctona y transitoria (CORTOLIMA & Universidad de Ibagué, 2019). Así mismo, “*los palmares sobreviven a zonas fragmentadas alrededor de potreros, donde realizan actividades de pastoreo*”(CORTOLIMA & UT, 2018, pág. 18).

-Protección de las especies asociadas: Los Palmares, funcionan como resguardo de diversas especies de fauna y flora asociada, ayudando a su conservación (CORTOLIMA & UT, 2019).

-Polinización: Los palmares albergan diversidad de especies de aves, insectos y mamíferos, “*que consumen los frutos secos ayudando a la polinización de la especie, sus semillas son dispersadas por diversos agentes, completándose así el proceso de propagación de la especie (Galeano, Bernal & Figueroa, 2015)*” (CORTOLIMA & UT, 2019, pág. 3), la polinización por insectos, principalmente la realizan “*los escarabajos (nitidúlidos de la tribu Mystropini), pequeños insectos de 1-6 mm de largo, que parecen ser específicos de las palmas de cera (Kirejtshuk & Couturier, 2009)*” (MADS, 2015, pág. 23).

4.1.2. Servicio de Aprovisionamiento.

Constituidos por el conjunto de bienes y productos que se obtienen de los ecosistemas “como alimentos, fibras, maderas, leña, agua, suelo, recursos genéticos, pieles, mascotas, entre otros (MEA 2005)” (MADS, 2014, pág. 31), los principales servicios de aprovisionamiento relacionados a la palma de cera son:

-Producción Alimentaria: los frutos de la Palma de Cera, que alcanzan la madurez constituyen una fuente de alimentación importante para la fauna silvestre (CORTOLIMA & UT, 2019, pág. 3), el desarrollo de los frutos hasta su plena madurez tarda aproximadamente ocho (8) meses. “Los frutos son consumidos, entre otros, por mirlas (*Turdus spp.*), tucanes (*Andigena nigrirostris* y *Aulacorhynchus prasinus*), carriqués (*Cyanocorax yncas*), loros (*Hapalopsittaca fuertesii*, *H. amazonina*) y desde el suelo por tairas (*Eira barbara*)” (MADS, 2015, pág. 23).

-Material genético: La enorme diversidad genética disponible de la Palma de Cera en el Tolima y Quindío, a pesar de la pérdida de hábitat actual, “puede servirle al Árbol Nacional Colombiano y a sus especies hermanas como fuente para repoblar en caso de una eventualidad que cause extinciones locales en las poblaciones satélites” (MADS, 2015, pág. 52).

4.1.3. Servicios Culturales.

Son los beneficios no materiales obtenidos de los ecosistemas, “mediante el enriquecimiento espiritual, belleza escénica, inspiración artística e intelectual, el desarrollo cognitivo, la reflexión, la recreación y experiencias estéticas (MEA 200)” (MADS, 2014, pág. 35), los principales servicios culturales alrededor de la Palma de Cera son:

-Turismo de naturaleza: alrededor de los bosques de palma de cera, existen diferentes zonas naturales que llaman la atención para las comunidades donde pueden realizar actividades como senderismo, avistamiento de aves, interpretación ambiental, etc. (CORTOLIMA, 2020).

-Conservación de tradiciones culturales: se realiza tradicionalmente la “ruta eco histórica de la palma de cera” (CORTOLIMA, 2020, pág. 65). A nivel de Colombia, se tiene el Camino Nacional considera “la ruta que atravesaron Humboldt y Bonpland en 1801, la que atravesó Simón Bolívar

de regreso de Quito en enero de 1830 y la que atravesaron tantos científicos y viajeros en el proceso de formación de nuestra Nación” (MADS, 2015, pág. 26).

-Identidad cultural: la Palma de Cera, se constituye en el árbol insignia nacional de Colombia, adoptado en 1985 por la Ley 61 (MADS, 2015).

-Uso paisajístico: los bosques de Palma de Cera, generan gran importancia para las comunidades por la belleza escénica, así mismo, sirven de inspiración para las artes y otras actividades espirituales y culturales (CORTOLIMA, 2020).

4.2. Localización de poblaciones de Palma de Cera en la Cordillera Central sobre el departamento del Tolima.

La Palma de Cera, se distribuye principalmente sobre las dos (2) caras de la Cordillera Central de Colombia, específicamente sobre el departamento de Antioquia, Caldas, Quindío, Valle del Cauca y Tolima, como se puede observar en la Figura 1.

Figura 1. Localización de poblaciones de palma de cera en la cordillera Central.



Estado de las poblaciones en la Cordillera Central

Ceroxylon quindiuense se encuentra en las dos vertientes de la Cordillera Central, en una franja de unos 360 km de largo que se extiende desde los 3° 43' N cerca de Tenerife, Valle del Cauca, hasta los 6° 57' N en los alrededores de Yarumal, Antioquia. La especie crece entre 2000 y 3100 m de elevación, pero es más abundante en la franja 2500-2900 m. Las principales poblaciones se encuentran en los departamentos de Tolima, Quindío, Caldas, Valle del Cauca y Antioquia. Es posible, además, que la población del norte de Caldas se extienda hasta el extremo sur del departamento de Antioquia.

Nota. Extraído del Plan de Conservación de la Palma de Cera. **Fuente:** (MINAMBIENTE, 2015, pág. 24).

A nivel del departamento del Tolima se pueden encontrar en tres (3) zonas bien diferenciadas:

1. Toche – La Ceja.
2. Cañón de Anaime.
3. Roncesvalles.

Seguidamente se realiza una descripción general de cada sitio.

4.2.1. Toche – La Ceja Tolima.

Según datos del Plan Nacional para la Conservación de la Palma de Cera, esta región es la que alberga las poblaciones más grandes de *Ceroxylon quindiuense* en Colombia. Se encuentra en la vertiente oriental de la Cordillera Central, cerca del corregimiento de Toche, en jurisdicción de los municipios de Ibagué y Cajamarca, entre 4° 30' 45" - 4° 31' 34" N y 75° 30' 29" - 75° 26' 31" O, entre 2160 y 3000 m de elevación, en la cuenca del río Toche, afluente del río Coello (figs. 7, 9). Esta zona está bajo jurisdicción de Cortolima. El área con la mayor concentración de palmas tiene una extensión de 4500 hectáreas y comprende un mosaico de relictos de bosque con palma que presentan diverso grado de intervención, de hasta 40 ha, en una matriz de potreros en los que también sobreviven palmas. Los fragmentos de bosque más grandes se encuentran en las fincas Cruces, La Leona, La Carbonera, Gallego, Galleguito, Aguabonita, El Delirio y La Reforma. En total los fragmentos con palmas cubren alrededor del 20% de la cuenca, es decir unas 900 ha (R. Bernal, obs. pers.). La densidad de palmas adultas en los fragmentos de bosque es de 290-840 palmas/ha ($x = 590$ palmas/ha) (Girón-Vanderhuck, 1999). De esta manera, el número total de palmas adultas que sobreviven en fragmentos de bosque se puede estimar en unas 531.000. Adicionalmente, alrededor de una tercera parte de las áreas de potrero, es decir unas 1200 ha, tiene palmas que sobreviven, pero no se reproducen allí. Estimando una densidad promedio de 60 palmas/ha, tendríamos unas 72.000 palmas en potreros.

De esta manera, el número total de palmas en la zona de Toche se puede estimar de manera gruesa en unas 600.000. Según reportes no confirmados, un relicto de bosque de unas 250 ha situado en la margen derecha del río Toche, aguas arriba del poblado de Toche, a los 4° 33' 55" N, 75° 25' 19" O, contiene extensas poblaciones de *Ceroxylon quindiuense*. Ese relicto no fue visitado durante nuestro trabajo de campo. En los fragmentos de bosque se encuentran, en general, palmas en todos los estados de desarrollo, aunque en algunas áreas que bordean el potrero o en los

fragmentos más pequeños hay muy pocas plántulas y juveniles, debido al ingreso del ganado. En los potreros solo se encuentran palmas adultas, que florecen y fructifican de manera regular pero no dejan descendencia allí, pues las plántulas no sobreviven a la plena exposición y al pastoreo. La mayoría de palmas que se observaron en los potreros y en los bosques en febrero de 2014 tenían alturas cercanas a los 25 m, que corresponden a edades entre los 90 y los 100 años. Sin embargo, en los alrededores de la finca Cruces sobreviven en potreros varias palmas de 38-40 m de alto, que están probablemente en las fases finales de su ciclo de vida, con edades superiores a los 130 años.

4.2.2. Anaime – Tolima.

Esta zona está situada en la vertiente oriental de la Cordillera Central, en la cuenca del río Anaime, en el municipio de Cajamarca, entre los 4° 23' 50"-4° 18' 17" N y los 75° 26' 42"-75° 31' 54" O, entre 2000 y 3000 m de elevación. Está bajo jurisdicción de Cortolima. Etter y colaboradores (1991) calcularon que en esta zona había 2250 ha de bosque denso poco intervenido con palmas, 1000 ha de bosque intervenido con palmas y 11.000 ha de potreros con palmas. Sin embargo, las áreas mapeadas por estos autores incluyen muchas zonas de bosque que están por fuera de la cuenca del río Anaime y pertenecen a la cuenca del río Cocora, y en las cuales no es segura la presencia de palmas. El área de la cuenca del río Anaime que está por debajo de la cota de 3000 m (fig. 19) es de unas 7.700 ha, de las cuales alrededor del 15 % corresponde a fragmentos de bosque de diversos tamaños, la mayoría de ellos franjas angostas a lo largo de cañadas, y sólo unos cinco fragmentos de más de 50 ha. Los principales palmares están en las veredas La Floresta, Cucuanita y Potosí. En este último sitio hay fragmentos de bosque con una densidad de unas 600 palmas por hectárea (fig. 22), y potreros con numerosas palmas. El número total de palmas adultas en Potosí probablemente supera las 4000. Aunque es difícil estimar el número total de palmas adultas en la cuenca del río Anaime, es probable, a juzgar por las fotografías estudiadas y las imágenes de satélite, que éste sea cercano a las 10.000 (MINAMBIENTE, 2015).

4.1.3. Roncesvalles – Tolima.

Esta zona está situada en la vertiente oriental de la Cordillera Central, en la cuenca alta del río Cucuana, en el municipio de Roncesvalles, a los 4° 01' 36" N, 75° 36' 57" O, entre 2650 y 3000 m de elevación (figs. 27-30). Esta zona está bajo jurisdicción de Cortolima. Es una zona deforestada en gran medida, en la que sobreviven fragmentos de bosque con palma de cera, y

palmas en potreros. Las principales áreas de bosque con palma de cera se encuentran al norte y noroeste de la cabecera municipal, e incluyen varios fragmentos de poco más de 1 ha, y unos pocos fragmentos de área más considerable, incluyendo un fragmento de 19 ha a 1.9 km al NNO del pueblo, uno de 62.5 ha 3.9 km al NO del pueblo y un enorme fragmento de unas 795 ha que comienza 2.5 km al N del pueblo. La densidad de palmas adultas en estos fragmentos es de 44 palmas/ ha. La mayor abundancia de palmas en potreros se encuentra al norte del pueblo. La densidad de palmas en los potreros es de 53/ha. La inmensa mayoría de palmas en Roncesvalles alcanzan hasta 25 m de altura, con una edad aproximada de 90 años. Al parecer, hasta 1991 todavía quedaban palmas más altas, probablemente pertenecientes a la generación anterior. Palmas altas como esas son escasas ahora. Muchas de las palmas adultas que crecen en los potreros de Roncesvalles se están muriendo desde la década de 1990 por causa desconocida. La situación es particularmente grave en la finca La Siberia, al norte del pueblo. Los tallos de las palmas muertas son utilizados como sitio de anidación por el loro orejiamarillo (MINAMBIENTE, 2015)

4.2. Enfermedad de la Palma de Cera.

Según el Plan Nacional de Conservación de la Palma de Cera, en 1991 se reportó una supuesta enfermedad que estaba atacando las palmas de cera del Quindío en la región de Anaime, Tolima. A comienzos de 1992 el Instituto Colombiano Agropecuario – ICA envió profesionales al área para hacer una evaluación, de la cual se derivó un informe (Carrero & Gómez, 1992).

Los investigadores evaluaron una muestra de 100 palmas en la finca El Placer, en la cuenca del río Anaime, de las cuales 50 estaban muertas y 30 en vías de morir, y señalaron que en zonas aledañas la situación era similar. Los investigadores diferenciaron cuatro estados de síntomas en las palmas afectadas: 1. Síntomas iniciales. Las palmas mostraban una o dos hojas bajas medias de color amarillento hasta marrón. 2. Síntomas secundarios. Se observaban las hojas bajas secas, flácidas, algunas ya caídas con un área foliar necrosada que representaba entre un 25 % y un 50 % (MINAMBIENTE, 2015). En este estado la planta estaba afectada internamente, sin posibilidad de recuperación. 3. Síntomas avanzados. Se observaban la totalidad de las hojas completamente secas. 4. Síntomas finales. En este estado la palma había perdido totalmente el cogollo, quedando sólo el tallo en pie. Ellos atribuyeron la muerte de las palmas al hongo *Ceratocystis*, y señalaron la asociación del patógeno con dos insectos: un pequeño escarabajo escolítido de 4-6 mm de largo,

que perfora los tallos, y un escarabajo curculiónido que consume la médula en descomposición. Sin embargo, no diferenciaron si los insectos o los hongos eran el agente causal primario de la enfermedad (MINAMBIENTE, 2015).

Posteriormente, Cardozo & Guzmán (1993) hicieron un estudio de la supuesta enfermedad en el valle de Cócora, en Salento, Quindío. Aunque afirmaron que hongos de los géneros *Graphium* y *Fusarium* afectaban a las palmas, su trabajo no aportó ningún dato realmente relevante. En 1997, César Rodríguez y Eric Boa iniciaron un trabajo más extenso en los palmares de la Cordillera Central, y concluyeron (Rodríguez & Boa, 1999) que la enfermedad se encontraba diseminada en mayor o menor grado en todas las áreas entre Salamina (Caldas) y Tenerife (Valle del Cauca), con una mayor prevalencia entre las poblaciones de Roncesvalles (Tolima), y que se presentaba tanto en potreros como en bosque. Señalaron que en algunas áreas más de la mitad de las palmas estaban enfermas, y que una vez que la planta empezaba a marchitarse, el secamiento se producía en cuestión de meses. Los investigadores no encontraron ninguna relación entre la presencia del escarabajo escolítido *Phloeotribus* (que había sido sugerido como vector de *Ceratocystis*) y la enfermedad, pero aislaron de palmas enfermas los hongos *Fusarium* y *Ceratocystis*, que no necesariamente son patógenos. En una muestra estudiada no se encontró el protozooario flagelado *Phytomonas*, que ha sido asociado a la marchitez en el cocotero (*Cocos nucifera*) (Barreto, 1982). Finalmente, estos investigadores consideraron que la enfermedad era la principal amenaza para la palma de cera del Quindío (MINAMBIENTE, 2015).

La presencia de escarabajos escolítidos, por su parte, no puede considerarse una causa de muerte de las palmas, sino una consecuencia de ella. De todas las palmas que hemos examinado, solo hemos encontrado perforaciones de escolítidos en palmas muertas y nunca en palmas vivas. Así pues, la causa de muerte de las palmas de Roncesvalles es todavía desconocida. Sin embargo, cualquiera que ella sea, parece estar fuertemente focalizada, restringida a áreas de potrero fácilmente accesibles desde el pueblo, y con una baja capacidad de contagio, puesto que en 24 años ha tenido una diseminación limitada en Roncesvalles y apenas si se ha presentado en otras áreas. Así las cosas, aunque esta supuesta enfermedad no parece representar actualmente una amenaza para la palma de cera del Quindío, sí es necesario y urgente determinar con claridad la causa de la muerte de estas palmas y tomar medidas contundentes para controlarla (MINAMBIENTE, 2015).

Ilustración 5. *Palmares de Cera en Cajamarca.*



Nota. Fotografía tomada por el equipo técnico de la SPADS. **Fuente:** CORTOLIMA

5. Metodología de trabajo

La metodología de trabajo propuesta para realizar el censo de Palma de Cera, se organizó a través de un enfoque mixto, entre la investigación cualitativa y cuantitativa, con revisión y recopilación de información secundaria y la aplicación de técnicas innovadoras para determinación de datos, como se describe seguidamente:

5.1. Diseño y Desarrollo Metodológico

El diseño metodológico propuesto, organizada en tres (3) fases bien diferenciadas, una fase de caracterización, una fase de evaluación y una fase propositiva, como se observa en la Tabla 1.

Tabla 1. Fases del diseño metodológico.

| Fase | Procedimientos y Herramientas | Técnica | |
|-----------------|---|--|---|
| | Recopilación y Revisión de información Secundaria | <ul style="list-style-type: none"> - Estudios e investigaciones - Legislación Ambiental - Instrumentos de planificación ambiental y territorial | Análisis de contenido |
| Caracterización | Detección de Palma de Cera Utilizando Aprendizaje Profundo Recolección de información primaria | <ul style="list-style-type: none"> - Entrenamiento de Modelo de DeepLearning - Interpretación de Imágenes | Uso de imágenes de alta resolución (Pleiades y Earth Scanner) Aprendizaje Profundo en ArcGIS Pro - |
| Evaluativa | Verificación en campo | <ul style="list-style-type: none"> - Observación y conteo de especies de palma - Georreferenciación - Registros Fotográficos | Transectos y Parcelas de 5 m X 5 m (pendiente Definir) |

| | | | |
|-------------|--------------------------------------|---|------------------------|
| | | | el tamaño de parcelas) |
| Propositiva | Análisis y evaluación de información | - Matriz DAFO - Matriz de priorización | Planeación estratégica |

Nota. Elaborado por el equipo técnico y de apoyo de la SPADS. **Fuente.** CORTOLIMA (2025).

Seguidamente se profundiza en cada una de las etapas desarrolladas:

5.1.1. Fase de Caracterización.

1. Revisión de información secundaria:

La revisión secundaria permite recopilar datos a partir de una información ya establecida por una fuente principal o primaria, a la cual se le puede realizar un análisis secundario. El procesamiento de esta información se puede dar mediante la interpretación, análisis, así como la extracción y reorganización de dicha fuente

Inicialmente se realizó la búsqueda y recopilación de información documental, específicamente estudios e investigaciones realizadas por entidades de orden territorial a escala nacional, para el censo de Palma de Cera, entre ellos el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, a través del Instituto de Investigación Alexander von Humboldt, relacionados con la Palma de Cera, encontrando:

- Producto 5: Documento con los resultados de la estimación de la densidad poblacional de la especie *Ceroxylon quindiuense*, a partir del análisis de sensores remotos y resultados anteriores (Rojas S. et al, 2023).

En el análisis de contenido, utilizado para estudio de estos documentos, se utilizó una matriz que incluía, la información general de la investigación, el objetivo, los antecedentes, el método de trabajo utilizado, la localización y zona de indagación, los resultados y, por último, las conclusiones.

2. Detección de Palma de Cera Utilizando Aprendizaje Profundo Recolección de información primaria

El Modelo de Aprendizaje Profundo es un subconjunto del aprendizaje automático que utiliza varias capas de algoritmos en forma de redes neurales. Los datos de entrada se analizan a través de distintas capas de la red, y cada capa define entidades y patrones específicos en los datos.

- **Modelo de aprendizaje profundo en ArcGIS Pro**

La inferencia del modelo hace referencia al proceso de extraer información de una imagen o nube de puntos utilizando un modelo entrenado. Las opciones para la inferencia del modelo en ArcGIS Pro son las siguientes:

- **Detectar objetos:** genera cuadros de delimitación alrededor de los objetos o entidades de una imagen para identificar su ubicación, utilizando la herramienta *Detectar objetos con aprendizaje profundo*.
- **Clasificar objetos:** genera etiquetas para las entidades de una imagen para identificar su clase o categoría, utilizando la herramienta *Clasificar objetos con aprendizaje profundo*.
- **Clasificar píxeles:** genera un ráster clasificado donde cada píxel pertenece a una clase o categoría. Se utiliza la herramienta *Clasificar píxeles con aprendizaje profundo*.
- **Clasificar nubes de puntos:** genera una nube de puntos clasificada donde los puntos se clasifican en códigos de clasificación específicos, utilizando la herramienta *Clasificar nube de puntos mediante un modelo entrenado*.

CORTOLIMA cuenta con software licenciado para completar este flujo de trabajo basado en ArcGIS Pro, se cuenta con la extensión de Image Analyst e instalación de marcos de aprendizaje profundo para ArcGIS, un mosaico de imágenes satelitales multibanda que para este proyecto de entrenamiento del modelo y fase de pruebas se usó ortomosaico de cuatro (4) bandas y resolución espacial de 0.5 metros y resolución espectral 16 bits, de igual manera un equipo de cómputo con tarjeta gráfica (GPU mínimo 4 GB).

Los modelos de aprendizaje profundo pre-entrenados realizan tareas como, por ejemplo: extracción de entidades, clasificación, redacción, detección y seguimiento, para derivar perspectivas significativas de grandes cantidades de imágenes.

- Extracción y detección de entidades (objetos) de imágenes
- Clasificación de píxeles
- Clasificación de nube de puntos
- Redacción de imagen
- Seguimiento de objeto

Insumos de entrenamiento:

- **Imágenes Satelitales**
 - **Imágenes Pléiades**

Los satélites idénticos Pléiades 1A y Pléiades 1B ofrecen productos de imágenes de 50 cm con una franja de 20 km.

Características Principales:

- Satélites gemelos multiespectrales de muy alta resolución (datos satelitales de 50 cm)
- Capacidad de revisita diaria y tareas altamente reactivas
- Capacidad estéreo / Tristéreo y archivo fresco
- Ideal para cartografía de precisión e inteligencia
- Especialmente adaptado para una respuesta rápida en caso de emergencia y detección de cambios diarios.
- Modelos 3D detallados, asequibles incluso en los lugares más inaccesibles.

Especificaciones Técnicas:

- Lanzamiento: Desde 2011
- Altitud de la órbita: 694 km
- Tipo: órbita sincrónica solar

- Bandas de sensores Pancromático: 470-830nm
- 4 bandas multiespectrales
 - Azul: 430-550 nm
 - Verde 500-620 nm
 - Rojo: 590-710 nm
 - IR cercano: 740-940 nm
- PAN (nadir): 0.50m
- MS (nadir): 2m
- Rango dinámico 12 bits
- Ancho de barrido 100 km
- Almacenamiento a bordo 16 TB
- Tiempo de revisión: 24 horas
- Localización GEO <8.5 m (CE90)
- Ángulo de desviación: Standard $\pm 30^\circ$ in roll - Extended: $\pm 45^\circ$ in roll
- **Imágenes Earth Scanner**

Los satélites Earth Scanner se lanzaron con éxito en 2020, 2022, 2023 y 2024. Tienen la franja más amplia entre los satélites submétricos, con una anchura de 150 km y una GSD de 0,5 m. Esto acorta el tiempo necesario para obtener imágenes de alta resolución en grandes áreas. Earth Scanner posee una capacidad de captura a gran escala con una capacidad de imagen diaria de 1,3 millones de km²

Características Principales

- El mayor satélite óptico de teledetección submétrica de barrido del mundo.
- La capacidad de captura de imágenes alcanza 1,3 millones de km² al día.
- Cartografía rápida a gran escala con seguimiento semanal que requiere series temporales de imágenes sobre varios miles de km².

Especificaciones Técnicas:

- Lanzamiento: Desde 2020
- Altitud de la órbita: 481 km
- Tipo: órbita sincrónica solar
- Bandas de sensores Pancromático: 450-800nm
- 4 bandas multiespectrales
 - Azul: 450-510 nm
 - Verde 510-580 nm
 - Rojo: 630-690 nm
 - IR cercano: 770-895 nm
- PAN (nadir): 0.50m
- MS (nadir): 2m
- Rango dinámico 12 bits
- Ancho de barrido 150 km
- Almacenamiento a bordo 16 TB
- Tiempo de revisión: 48 horas
- Localización GEO <8.5 m (CE90)
- Ángulo de desviación: $\pm 45^\circ$

- **Adquisición de Imágenes Satelitales:**

Se adquirieron un total de 11 imágenes satelitales disponibles en catálogo con resolución de 0.5 m. de píxel, con una antigüedad menor a un año con el siguiente detalle:

Tabla 2. Resumen de productos

| Nombre | Formato | # Bandas | Satélite | Resolu ción | Fecha | % Nubosidad Aprox. |
|---|----------------|---------------------|------------------|------------------------|--------------|-----------------------------------|
| DIM_PHR1B_PMS_20 2408311541280_ORT_ 7513700101 | TIF | 4 (RGBIr) | Pleiade s | 0,5 m. | 2024083 1 | 0% |
| DIM_PHR1B_PMS_20 2409141534008_ORT_ 7513699101 | TIF | 4 (RGBIr) | Pleiade s | 0,5 m. | 2024091 4 | 4% |
| DIM_PHR1B_PMS_20 2501011544365_ORT_ 75137031011 | TIF | 4 (RGBIr) | Pleiade s | 0,5 m. | 2025010 1 | 35% |
| DIM_PHR1B_PMS_20 2501011545030_ORT_ 7513704101 | TIF | 4 (RGBIr) | Pleiade s | 0,5 m. | 2025010 1 | 15% |
| DIM_PHR1B_PMS_20 2501221533321_ORT_ 7513701101 | TIF | 4 (RGBIr) | Pleiade s | 0,5 m. | 2025012 2 | 0% |
| DIM_PHR1B_PMS_20 2504031536326_ORT_ 7513702101 | TIF | 4 (RGBIr) | Pleiade s | 0,5 m. | 2025040 3 | 65% |
| EC2_PMSR2_2025051 0234043_200382045_1 02_0045_001_L1C | TIF | 4 (RGBIr) | Earth Scanner | 0,5 m. | 2025051 0 | 2% |

| | | | | | | |
|---------------------|-----|---------|---------|--------|---------|----|
| EC3_PMSR6_2024083 | TIF | 4 | Earth | 0,5 m. | 2024083 | 0% |
| 0233733_200297387_1 | | (RGBIr) | Scanner | | 0 | |
| 02_0011_001_L1C | | | | | | |
| EC3_PMSR6_2024083 | TIF | 4 | Earth | 0,5 m. | 2024083 | 0% |
| 0233733_200297387_1 | | (RGBIr) | Scanner | | 0 | |
| 02_0012_001_L1C (2) | | | | | | |
| EC3_PMSR6_2024083 | TIF | 4 | Earth | 0,5 m. | 2024083 | 0% |
| 0233733_200297387_1 | | (RGBIr) | Scanner | | 0 | |
| 02_0012_001_L1C | | | | | | |
| EC3_PMSR6_2024083 | TIF | 4 | Earth | 0,5 m. | 2024083 | 1% |
| 0233733_200297387_1 | | (RGBIr) | Scanner | | 0 | |
| 02_0013_001_L1C | | | | | | |

Fuente. CORTOLIMA (2025).

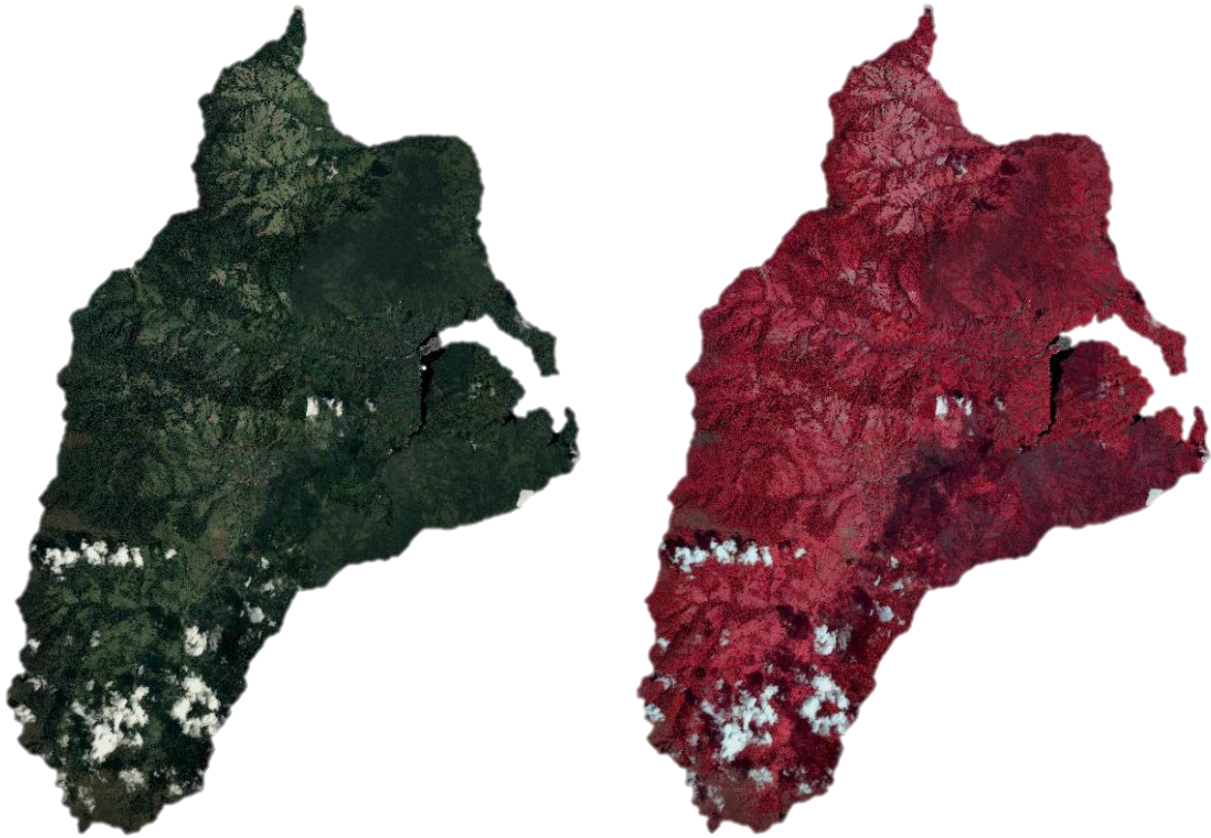
• Ajuste Radiométrico y Generación de Mosaico de Imágenes Satelitales

Se realizó el ajuste radiométrico debido a que la mayoría de las imágenes satelitales, requieren una optimización en el contraste visible para optimizar los valores más frecuentes en el dato. El método de ajuste radiométrico utilizado para estas imágenes es el Lineal, debido a que este método de ajuste de contraste aplica un ajuste de contraste de desviación estándar a cada canal de color de la imagen. Por lo tanto, la gama de colores visibles está optimizada para mostrar el contraste de la mayoría de los datos

También, la generación del mosaico se realiza con el fin de garantizar la menor cantidad de nubes visibles en el producto final y así mismo, para realizar un ajuste adicional radiométrico que permita disimular el empalme entre imágenes satelitales y su multitemporalidad en el área de interés.

El mosaico satelital de las 6 imágenes disponibles tiene un porcentaje de nubosidad menor al 15% en el interior del área de estudio, y se observa a continuación:

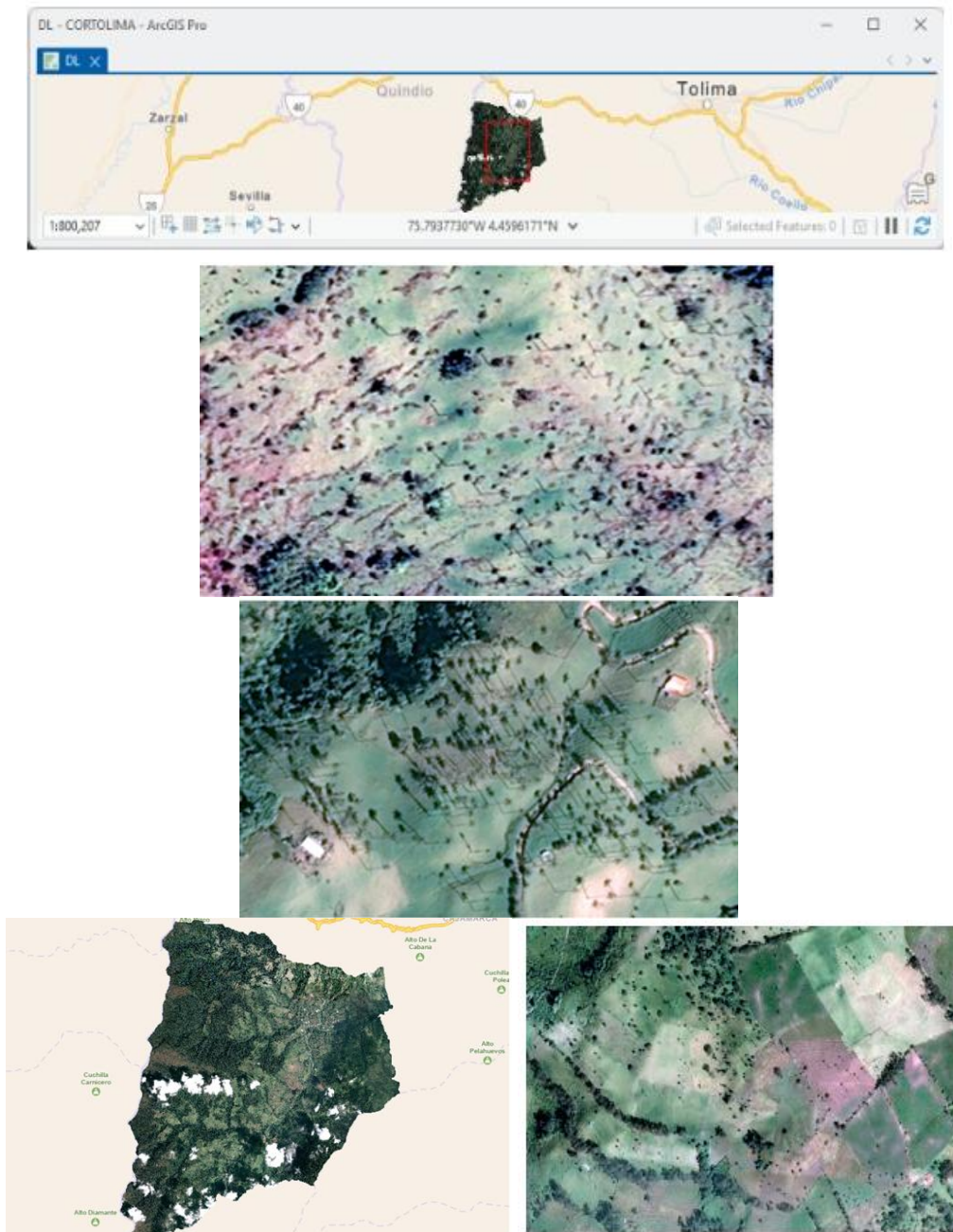
Figura 2. *Mosaico Satelital RGB y en Falso Color*



Fuente. CORTOLIMA (2025).

Las imágenes surtieron un proceso de interpretación visual mediante el software ArcGIS Pro, identificando las veredas de interés en el cañón de Anaime, siendo estas: Arenillal, El Águila, La Despunta, La Leona y Potosí. A partir de aquí se definió el modelo de aprendizaje profundo y el entrenamiento de las muestras

Figura 3. *Modelo de aprendizaje profundo en ArcGIS Pro en un entrenamiento previo.*

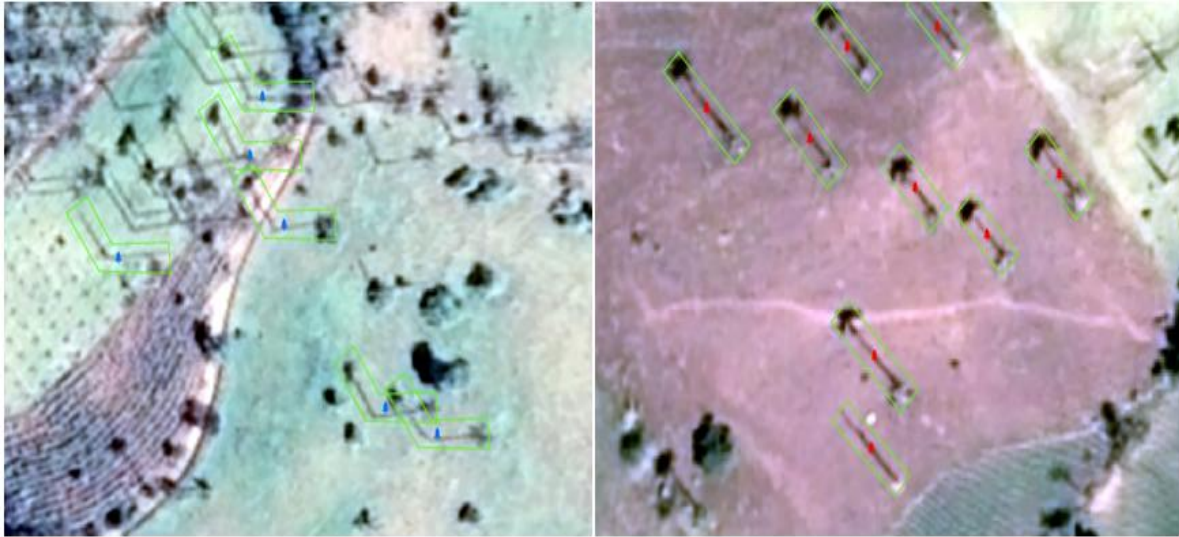


Fuente: CORTOLIMA (2025)

Etiquetado de datos de Entrenamiento: El etiquetado de imágenes es uno de los aspectos más importantes de la creación de datos de entrenamiento de alta calidad. El etiquetado de imágenes implica identificar y delimitar todos los objetos de interés en una imagen. Este puede ser un proceso que requiere mucho tiempo, pero es esencial para entrenar modelos precisos de

detección de objetos. En este ejercicio se etiquetaron dos clases genéricas de palma cera: PalmasAisladas, PalmasAisladasNadir.

Figura 4. *Ejemplo de etiquetado de imágenes en un entrenamiento previo.*



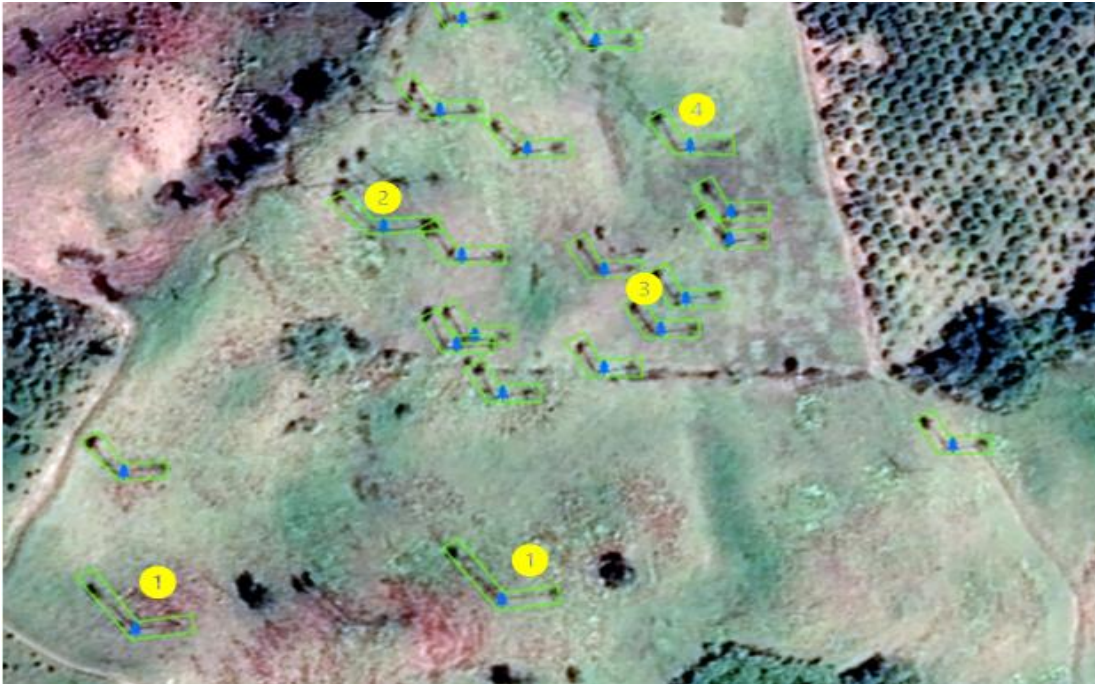
Nota. Izq. Palmas Aisladas, Der. Palmas Aisladas Nadir. **Fuente:** CORTOLIMA (2025).

En la clase Palmas Aisladas las palmas en general se pueden interpretar como una L con un ángulo abierto de diferentes grados y alturas (altura de la sobra y altura del árbol). En esta imagen satelital las palmas se ven con forma de “L” debido a la posición del sol y al ángulo en que el satélite captó la escena.

La copa de la palma aparece como una mancha oscura, mientras que la sombra proyectada hacia un lado queda registrada como una línea que parte de ella. Al combinarse ambos elementos —la copa y su sombra desplazada— se forma una figura parecida a una “L”, lo cual es un efecto normal en palmas altas observadas desde arriba cuando la iluminación es oblicua. Para esta tarea se usó una combinación de las herramientas de edición de ArcGIS Pro y la herramienta de *Label Objects for Deep Learning*.

En la Figura 5, se logra observar la forma de “L” de las Palmas asiladas identificadas en el proceso de entrenamiento de aprendizaje profundo en ArcGIS Pro.

Figura 5. Identificación de Palmas aisladas en un ejercicio de entrenamiento previo.

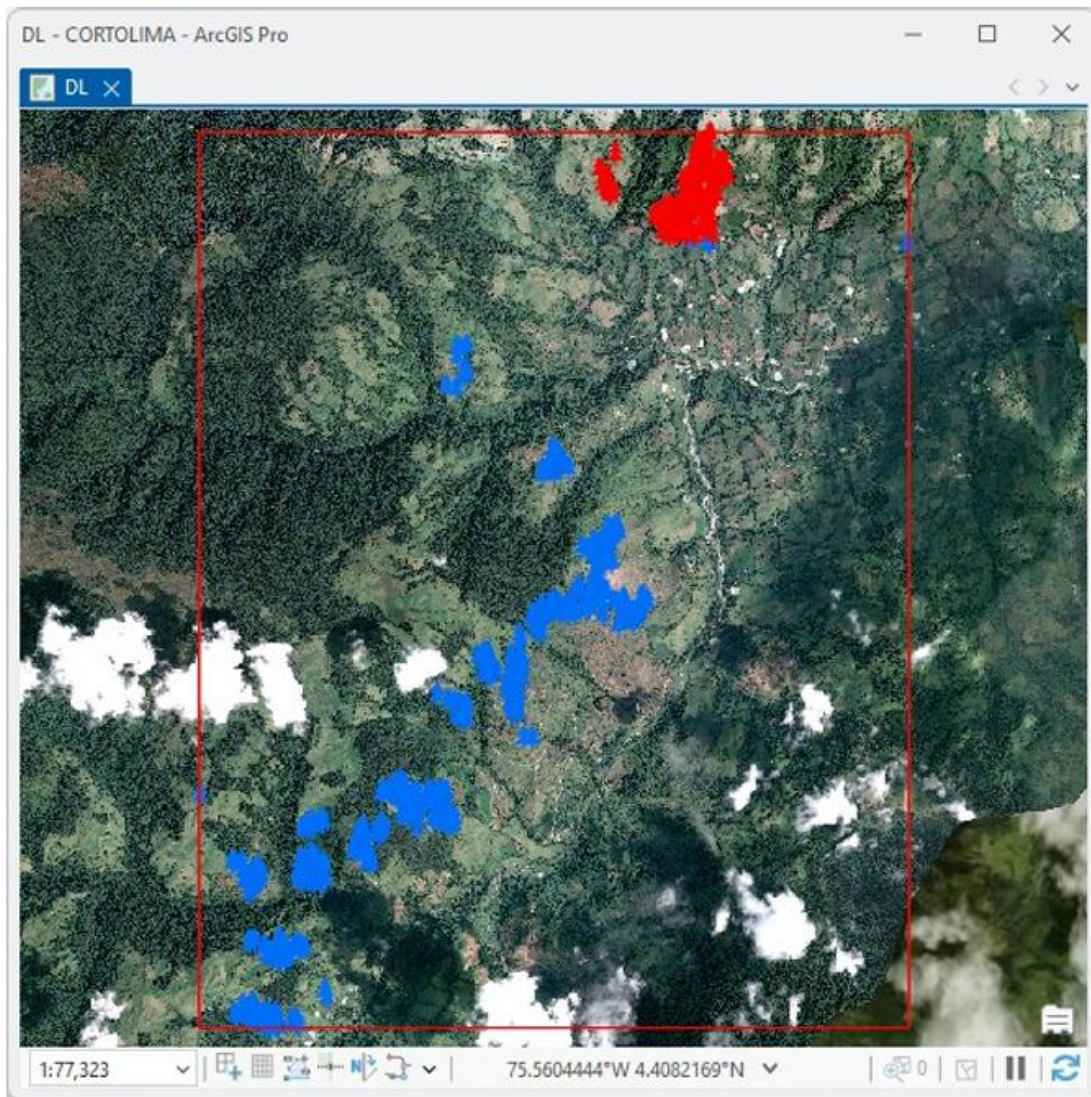


Fuente: CORTOLIMA (2025)

Exportar datos de entrenamiento: Se usó una imagen con la combinación de las tres (3) bandas 1, 2 y 3 aplicando la función de *Stretch* con el Ajuste de Rango Dinámico (DRA) para resaltar mejor las Palmas.

Se crearon 608 polígonos etiquetados para este ejercicio incluyendo 489 para la clase ‘Palmas Aisladas’ y 119 para la clase ‘Palmas Aisladas Nadir’. cómo se observa en la Figura 6.

Figura 6. Exportación de datos de entrenamiento.

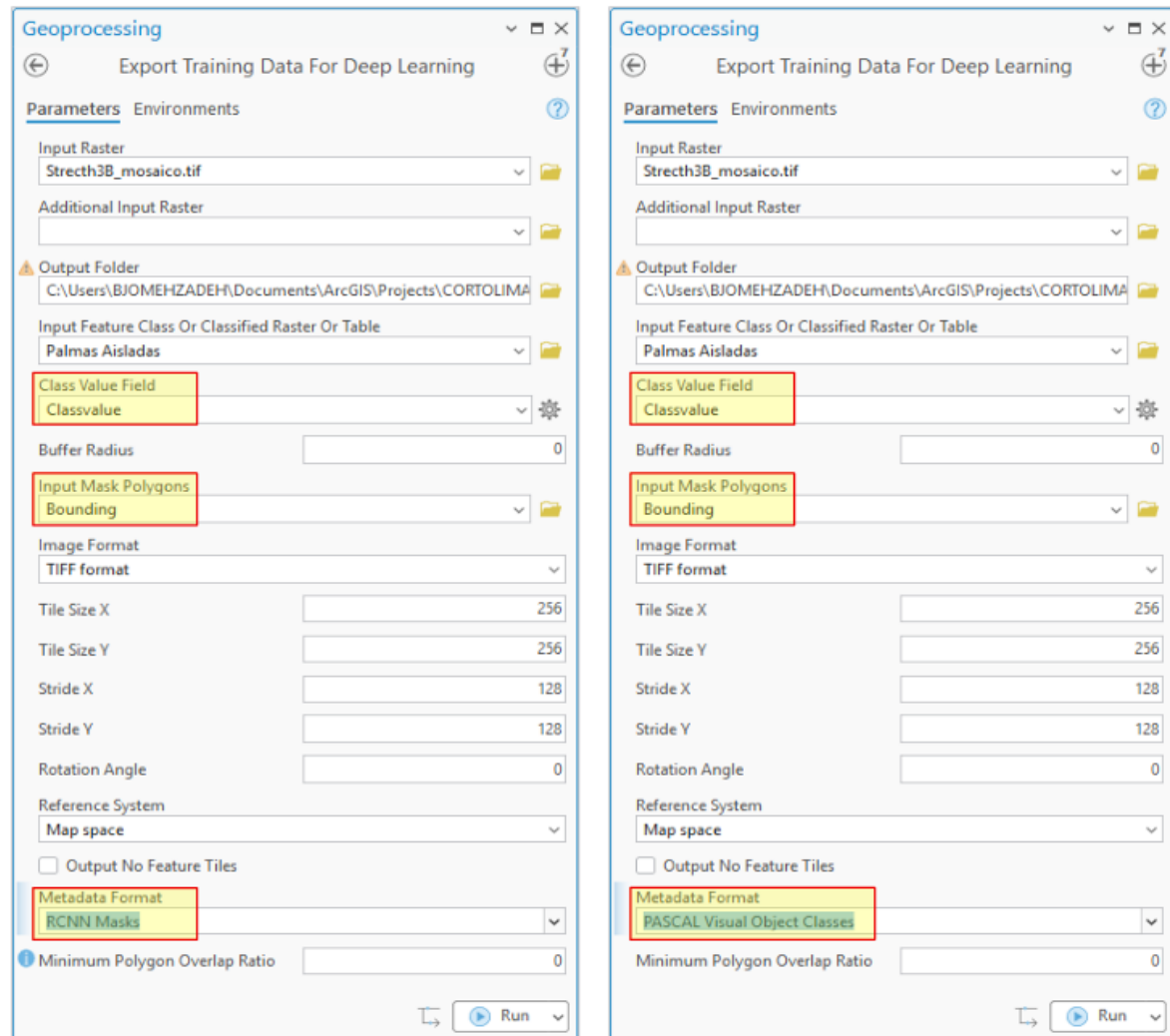


Nota. polígono de color azul Palmas Aisladas, polígono de color rojo Palmas Aisladas Nadir.

Fuente: CORTOLIMA (2025)

Para este paso se utilizó la herramienta *Export Training Data for Deep Learning*, configurando el parámetro *Metadata Format* según el tipo de modelo a entrenar. La opción *RCNN Masks* genera teselas acompañadas de máscaras de segmentación a nivel de píxel, adecuadas para modelos basados en Mask R-CNN. En contraste, *PASCAL Visual Object Classes* (VOC) produce anotaciones en formato XML con Bounding Boxes, compatibles con modelos de detección como Faster R-CNN o RetinaNet. Se establecieron parámetros consistentes de teselado (Tile Size 256, Stride 128) y el formato de imagen TIFF, garantizando la correcta preparación de los datos de entrenamiento.

Figura 7. Datos finales para le exportación de la información.



Fuente: CORTOLIMA (2025)

Entrenar un modelo de aprendizaje profundo: A partir de los dos (2) conjuntos de datos generados con *RCNN Masks* y *PASCAL VOC*, se procedió a entrenar dos modelos fuera de ArcGIS Pro. El conjunto exportado con *RCNN Masks* se empleó para entrenar un modelo de Mask R-CNN, utilizando las máscaras de segmentación a nivel de píxel para aprender la forma y delimitación precisa de cada palma. Por su parte, el conjunto exportado con *PASCAL VOC* se utilizó para entrenar un modelo DETReg, que requiere anotaciones en formato XML con bounding boxes. Ambos entrenamientos se desarrollaron en entornos externos basados en Python, siguiendo flujos similares al ejemplo oficial *Detecting Palm Trees Using Deep Learning*

de ArcGIS Developers, lo que permitió evaluar y comparar el desempeño de cada arquitectura en la detección de palmas asiladas.

Figura 8. Diferencias en los resultados del Modelo MaskRCNN y el Moldeo DETReg PASCAL para identificación de palmas.



Fuente: CORTOLIMA (2025)

- Detectar palmeras con los modelos de aprendizaje profundo entrenado

DETreg PASCAL

Mediante el uso de la herramienta *Detect Objects Using Deep Learning*. Se ajustaron los siguientes parámetros:

- En el parámetro *Input Raster*, se seleccionó la imagen sobre la cual se quiso realizar la detección.
- En Output *Detected Objects*, se especificó el nombre y la ubicación de la capa de salida.

Ejemplo: DetectObjectsPASCALStretch256CT02.

- En *Model Definition*, se seleccionó el modelo de *Deep Learning*, en este caso el *archivo.dlpk* correspondiente. Ejemplo: PASCALDETRegPalmaCeraEpoch100.dlpk.

- En *Objects of Interest*, se seleccionaron las clases que se desean detectar. Ejemplo: *PalmasAisladas*, *PalmasAisladasNadir*.

- En *Arguments*, se configuraron los siguientes parámetros:

- Padding: 64
- Confidence Threshold: 0.2
- NMS Overlap: 0.1
- Batch Size: 4
- Exclude Padding Detections: True
- Test Time Augmentation: False

f) Se activó la opción *Non Maximum Suppression*.

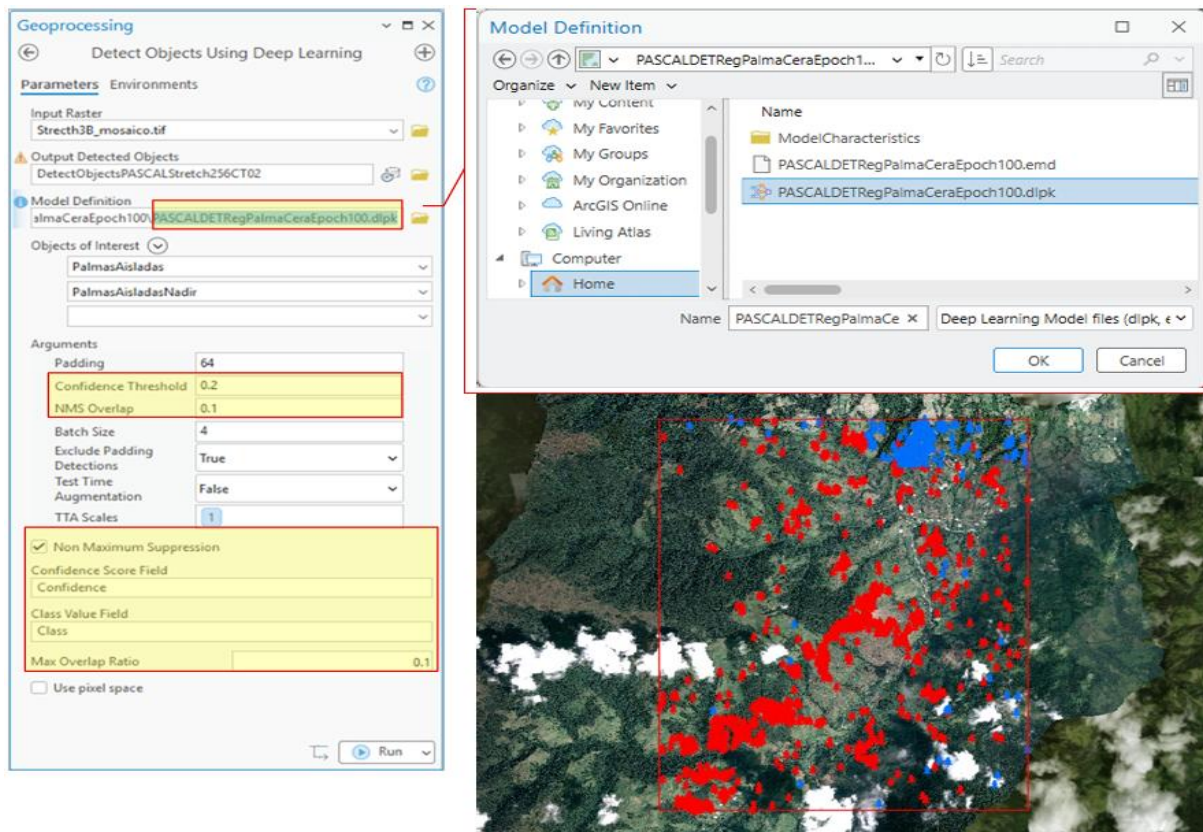
g) En *Confidence Score Field*, se seleccionó *Confidence*

- En Class Value Field, se seleccionó el parametro *Class*
- Ajusta Max Overlap Ratio: 0.1.

h) Run para ejecutar la herramienta.

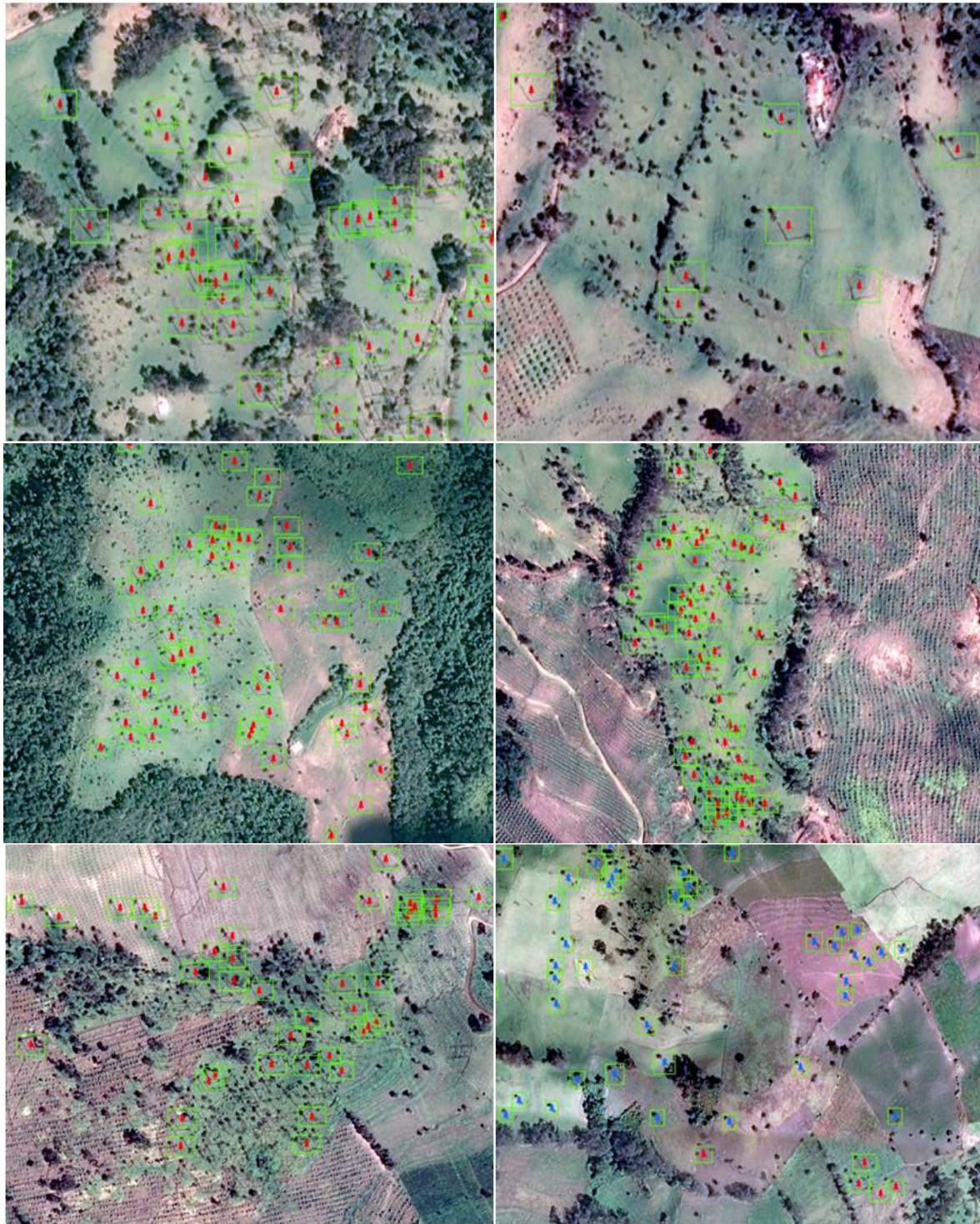
Al finalizar, la capa de objetos detectados se agregó automáticamente al mapa.

Figura 9. Introducción de datos con DETreg PASCAL.



Fuente: CORTOLIMA (2025)

Figura 10. Resultados proceso de conteo de palmares por DETreg PASCAL.



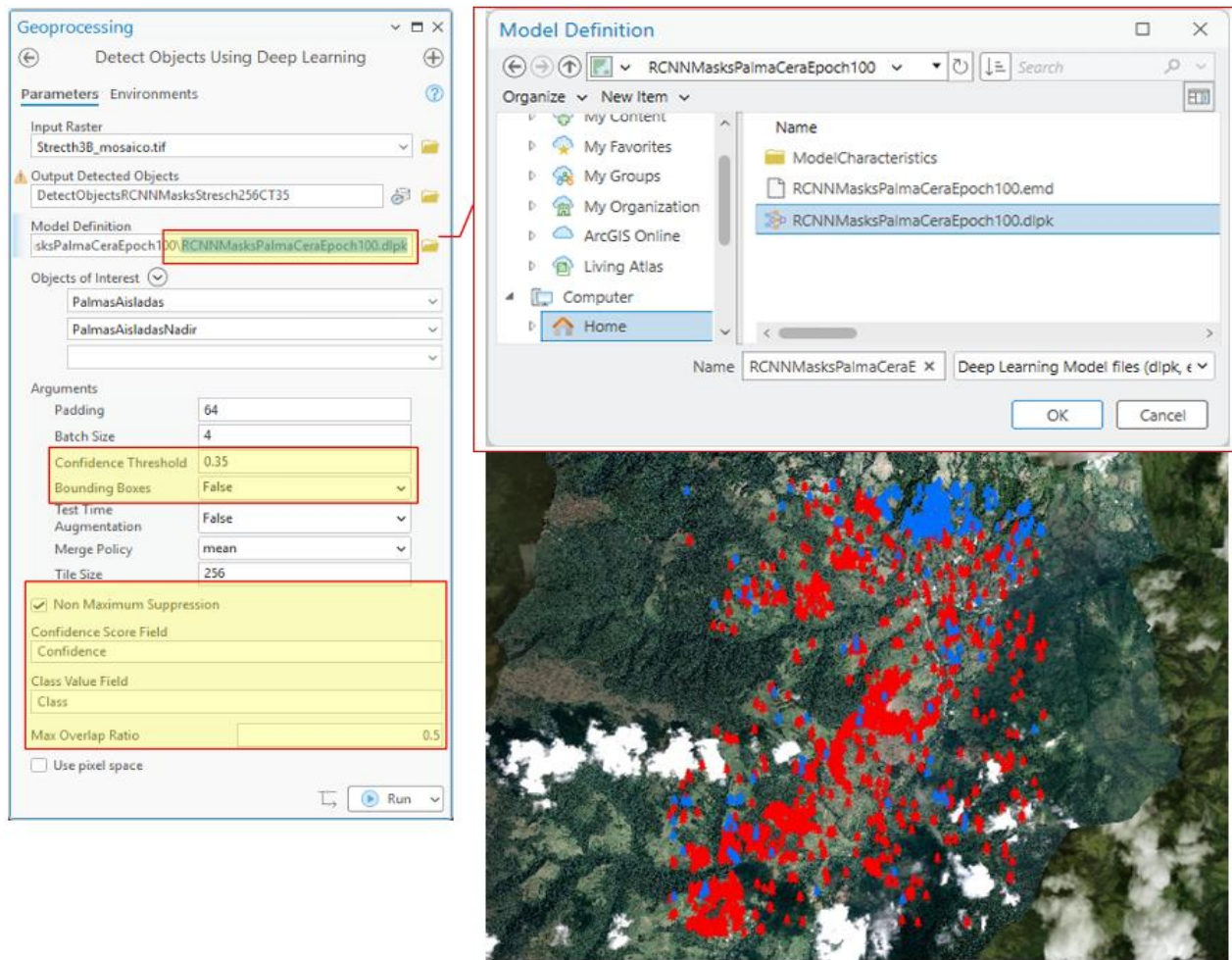
Fuente: CORTOLIMA (2025)

MaskRCNN (Object detection) MaskRCNN

De la misma manera puede usar el modelo basado en MaskRCNN.

- a) Se utilizó de igual manera la herramienta Detect Objects Using Deep Learning.
- b) En el parámetro Input Raster, se selecciona la imagen sobre la cual se quiso realizar la detección. Ejemplo: Stretch3B_mosaico.tif.
- c) En Output Detected Objects, se definió el nombre y la ubicación de la capa de salida. Ejemplo: DetectObjectsRCNNMasksStretch256CT35.
- d) En Model Definition, se hizo clic en el ícono de carpeta.
- e) Se navegó hasta la ubicación del modelo Mask R-CNN y se seleccionó el archivo.dlpk. Ejemplo: RCNNMasksPalmaCeraEpoch100.dlpk.
- f) En Objects of Interest, se seleccionaron la(s) clase(s) a detectar. Ejemplo: PalmasAisladas, PalmasAisladasNadir.
- g) En la sección Arguments, se configuraron los siguientes parámetros:
 - Padding: 64
 - Batch Size: 4
 - Confidence Threshold: 0.35
 - Bounding Boxes: False
 - Test Time Augmentation: False
 - Merge Policy: mean
 - Tile Size: 256
- h) Se activó la opción Non Maximum Suppression.
- i) En Confidence Score Field, se seleccionó el parámetro *Confidence*.
 - En Class Value Field, se seleccionó el parámetro *Class*.
 - En Max Overlap Ratio, se estableció el valor en 0.5.
- j) Se verificó que la opción Use pixel space se encontrara desactivada.
- k) Clic en Run para ejecutar la herramienta.

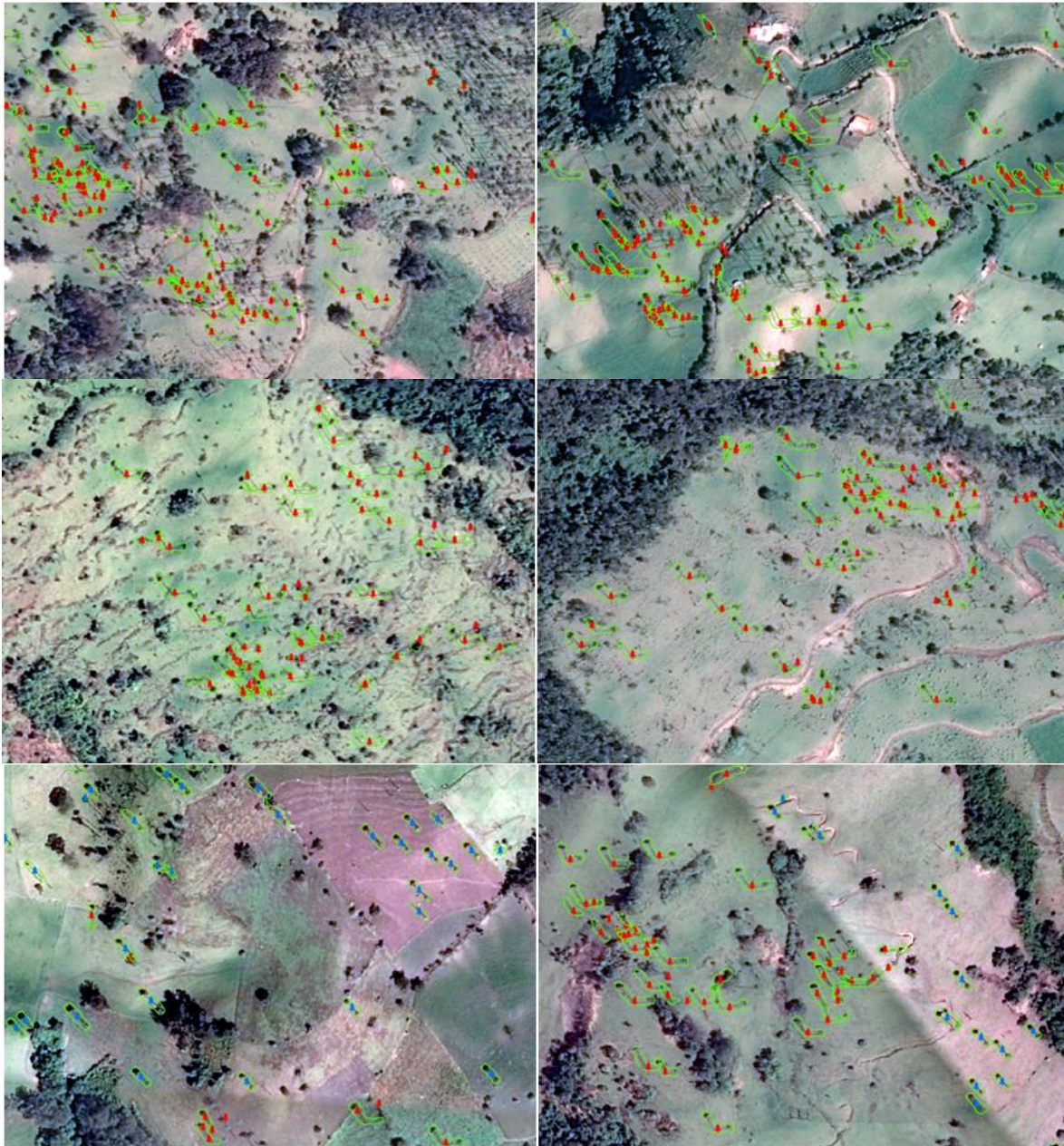
Figura 11. Introducción de datos con MaskRCNN.



Fuente: CORTOLIMA (2025)

Al finalizar el proceso, se añadirá al mapa la capa con los objetos detectados mediante máscaras (polígonos) generadas por el modelo Mask R-CNN.

Figura 12. Resultados proceso de conteo de palmares por Mask R-CNN.



Fuente: CORTOLIMA (2025)

Estrategias para mejorar la detección

Conclusión: En áreas con un agrupamiento denso de palmas, la disminución de detecciones es un reto común que se puede mitigar con ajustes adecuados en los parámetros del modelo, como el umbral de confianza, el tamaño de las teselas, y el ajuste de NMS. Además, optimizar la resolución de la imagen y aumentar la variabilidad de los datos de entrenamiento son factores

cruciales que pueden mejorar significativamente los resultados en zonas con alta densidad de objetos.

5.1.2. Fase Evaluativa.

Esta fase tiene como objetivo validar en campo los resultados obtenidos mediante aprendizaje el profundo y el análisis espacial producto de la fase de caracterización, y determinar el estado poblacional, sanitario y ecológico de *Ceroxylon quindiuense* en el cañón de Anaime, y el Sector de Toche – La Ceja como insumo para la priorización de acciones de conservación, responde directamente al componente de monitoreo ecológico establecido por el Plan Nacional de Conservación de la Palma de Cera (2015) del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y al eje IV de la Política Nacional para la Gestión integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos PNGIBSE

Verificación en Campo:

Se pretende realizar la verificación en campo mediante el contraste directo entre los resultados obtenidos a partir de las detecciones automáticas generadas por los modelos de aprendizaje profundo y la observación in situ, con el propósito de eliminar falsos positivos, confirmar la presencia real de individuos de Palma de Cera, ajustar los conteos finales y calibrar el modelo predictivo empleado. Para tal efecto, cada individuo confirmado será registrado de manera sistemática, incorporando su georreferenciación, altura aproximada, estado fenológico y condición sanitaria, información que permitirá fortalecer la precisión de la base de datos espacial, consolidar la estimación poblacional y generar insumos técnicos confiables para el análisis del estado de conservación de la especie en el área de estudio.

La información que se recolectará en campo será integrada al Sistema de Información Geográfica institucional mediante la georreferenciación precisa de cada individuo y agrupación de palmas, lo cual permitirá generar mapas de densidad poblacional, analizar el grado de fragmentación del bosque, estimar distancias entre núcleos reproductivos y evaluar la relación espacial entre los individuos de Palma de Cera y las áreas transformadas por actividades agropecuarias, particularmente potreros. Este proceso facilitará la identificación de patrones de distribución, zonas críticas de aislamiento y áreas con mayor potencial de conectividad ecológica,

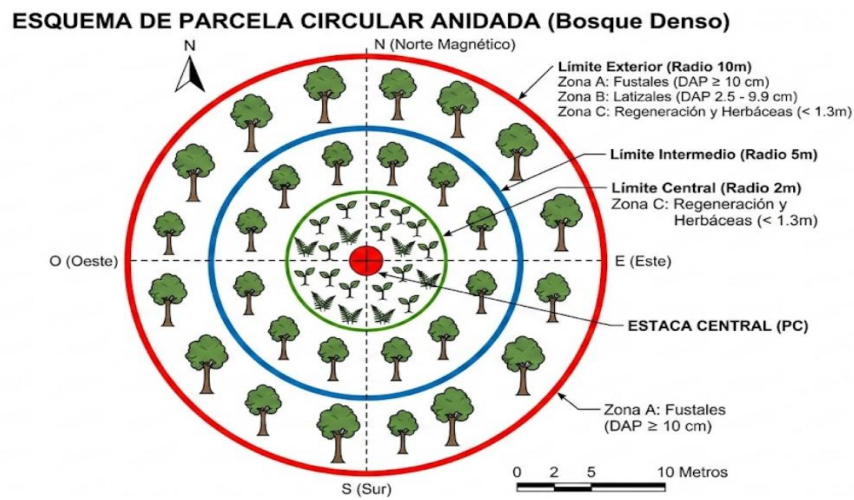
constituyéndose en un insumo fundamental para la evaluación del estado del hábitat y la posterior priorización de acciones de manejo y restauración.

De manera complementaria, se realizarán registros fotográficos sistemáticos de individuos representativos, estados sanitarios, evidencias de presión antrópica y contexto del paisaje circundante, con el fin de documentar visualmente las condiciones ecológicas del área de estudio. Este material gráfico respaldará técnicamente los resultados obtenidos en campo, fortalecerá la trazabilidad del proceso metodológico y constituirá soporte probatorio para la toma de decisiones institucionales, así como para eventuales actuaciones administrativas o judiciales relacionadas con la conservación de la especie.

Establecimiento de Parcelas

Para la estimación de densidad por unidad de área en bosques densos de palma, se implementarán parcelas circulares de radio fijo, por su eficiencia operativa y su uso extendido en inventarios forestales y protocolos de muestreo de vegetación. Como unidad base se adoptará una parcela circular de 20 m de diámetro tal como se muestra en la figura 13, dentro de la cual se realizará el conteo de individuos según criterio etario/sanitario y se calculará la densidad (ind/ha). En sitios con alta heterogeneidad o donde se requiera aumentar el número de individuos por unidad de muestreo, el radio podrá incrementarse (p. ej., 12 m) manteniendo el enfoque de radio fijo.

Figura 13. Esquema de parcela circular anidada en Bosque Denso



Fuente: CORTOLIMA (2025)

5.1.3. Fase Propositiva.

El objetivo de esta fase es formular los lineamientos técnicos del manejo, conservación y restauración ecológica de la Palma de Cera en Anaime y el sector de Toche – La Ceja, con base en los resultados espaciales y poblacionales obtenidos.

En la fase propositiva se integrará la información derivada de los resultados del modelo de aprendizaje profundo, la verificación en campo, el análisis de la estructura poblacional y las variables espaciales, con el fin de consolidar un diagnóstico integral del sistema socioecológico asociado a la Palma de Cera en el área de estudio. Este análisis permitirá identificar patrones de distribución, niveles de fragmentación del hábitat, estado de regeneración natural y principales presiones antrópicas, constituyéndose en la base técnica para la formulación de acciones estratégicas de conservación y restauración, en concordancia con los instrumentos de planificación ambiental vigentes y las obligaciones misionales de la autoridad ambiental regional.

A partir de este diagnóstico se aplicará una matriz DAFO, orientada a traducir los hallazgos técnicos en decisiones estratégicas como se puede apreciar en la figura 14.

Figura 14. Aplicación de Matriz DAFO



Fuente: CORTOLIMA (2025)

De manera complementaria, se evaluará la priorización territorial mediante la ponderación de criterios como el estado poblacional, el nivel de amenaza y la viabilidad técnica de intervención, lo cual permitirá clasificar el territorio en núcleos de conservación estricta, áreas prioritarias de restauración y zonas de manejo ambiental compatible. Esta zonificación preliminar constituirá un insumo fundamental para orientar la inversión de recursos institucionales y focalizar las acciones de la Corporación en los sectores con mayor importancia ecológica y mayor grado de vulnerabilidad.

Con base en estos insumos se estructurará un esquema de planeación estratégica centrado en competencias propias de la autoridad ambiental regional, el cual contemplará líneas de acción orientadas a la conservación de núcleos reproductivos mediante procesos de declaratoria o fortalecimiento de figuras de manejo ambiental; la restauración ecológica a través del aislamiento de plántulas, enriquecimiento vegetal y recuperación de corredores ecológicos; el establecimiento de un programa de monitoreo permanente que incluya seguimiento poblacional periódico y actualización cartográfica; el fortalecimiento de la gestión social mediante procesos de educación ambiental, participación comunitaria y promoción de prácticas sostenibles; y la articulación interinstitucional para la incorporación de los resultados en el PGAR y el PAC, el soporte técnico a procesos judiciales y la coordinación con entidades territoriales y actores del SINA.

Como resultado de esta fase se espera consolidar un portafolio priorizado de proyectos de conservación y restauración, lineamientos técnicos para la adopción de medidas administrativas por parte de la Corporación y una línea base oficial que permita estructurar el seguimiento a mediano y largo plazo. Este enfoque se fundamenta en el principio de manejo adaptativo, de manera que las acciones formuladas puedan ser ajustadas progresivamente en función de los resultados del monitoreo y de la evolución de las condiciones ecológicas del territorio.

5.2. Alcance

El censo de especies de Palma de Cera para toda el área de estudio en el departamento del Tolima, se realizará mediante tres (3) fases:

Fase de caracterización: incluye dos (2) zonas y se desarrollará a través de los Servicios de Imágenes Satelitales complementados con Sistemas de Información Geográfica.

- Zona de Toche y La Ceja en Ibagué y Cañón de Anaime entre Ibagué y Cajamarca.
- Zona de Roncesvalles, en esta fase el trabajo de desarrollará

Fase de Evaluación: consiste en realizar el trabajo de campo con profesionales forestales y ambientales que ingresarán directamente a la zona de interés a realizar el conteo manual de las especies de Palma de Cera.

Fase Propositiva: se relaciona con las acciones puntuales para la conservación y protección de la palma de cera en el Tolima, producto de todo el ejercicio de la fase de caracterización y evaluación.

5.3. Área de Estudio

El presente Censo tiene como área de estudio las siguientes zonas del departamento del Tolima:

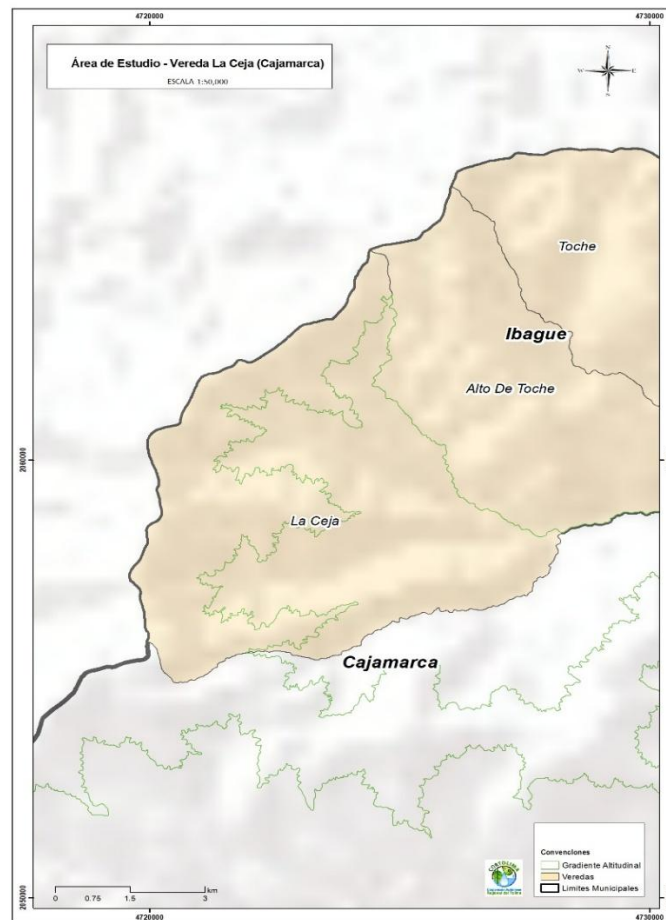
1. La Ceja

La vereda La Ceja, en Cajamarca (Tolima), hace parte de la zona montañosa alta de la cuenca del río Coello y se ha consolidado como uno de los núcleos más importantes de bosque andino y de palma de cera del país

La vereda La Ceja (Cajamarca, Tolima) se ubica sobre la cuenca alta del río Coello en un gradiente altitudinal de alta montaña que oscila aproximadamente entre los 2.000 y 3.400 m s.n.m., condición que determina la presencia de ecosistemas estratégicos de bosque altoandino y páramo (Guayacanal, 2022), En términos climáticos, el área presenta un régimen bimodal de precipitación con acumulados anuales estimados entre 1,500 mm y 2,000 mm, característico de la vertiente oriental de la Cordillera Central, donde las lluvias se concentran principalmente en los periodos de abril-mayo y octubre-noviembre. La temperatura media en estas cotas montañosas varía significativamente con la altura, registrando valores promedio entre 12 °C y 18 °C en las zonas de bosque de palma, descendiendo por debajo de los 10 °C en las áreas de transición hacia el páramo en el sector de Chilí, (Alcaldía Municipal de Cajamarca, 2000), lo que

favorece la condensación de humedad y la persistencia de niebla esencial para el ciclo hidrológico de la palma de cera (*Ceroxylon quindiuense*). Estudios locales en veredas colindantes como La Luisa y La Paloma confirman que estas condiciones de "tierras frías y muy frías húmedas" son determinantes para la oferta hídrica y la estabilidad de los relictos boscosos frente a la presión de actividades agropecuarias.

Figura 15. Área de estudio – Vereda La Ceja (Municipio de Cajamarca)



2. Cañón de Anaime

El sector de Anaime, en el municipio de Cajamarca, donde posiblemente exista presencia de Palma de Cera, el área de distribución de la palma de cera (*Ceroxylon quindiuense*) se estableció mediante un gradiente altitudinal de los 1600 msnm y una cota máxima a los 3.100 msnm según Bernal, R., & Sanín, M. J. (2013). Se identificó un área total de 48.755 ha, que

integra la cota mínima de los 1600 m s. n. m., hasta el límite municipal de Cajamarca, para una determinación más extensa de los núcleos de población de la especie.

La región de Anaimé presenta una topografía montañosa caracterizada por una altitud media de 2.161 m s. n. m., con un rango que oscila entre los 1.761 m s. n. m., en sus zonas más bajas y alcanza hasta los 2.885 m s. n. m., en sus puntos más elevados, la geomorfología de la zona presenta unas pendientes promedio entre 20° y 23°, clasificando estas zonas como de pendientes muy escarpadas, es así como las zonas más escarpadas, se encuentran en la parte alta de la quebrada El Águila y la quebrada las Hormas (García-Delgado & Machuca, 2019) aumentando considerablemente el acceso y desplazamiento a estas áreas.

Figura 16. *Área de Estudio Cañón de Anaimé*

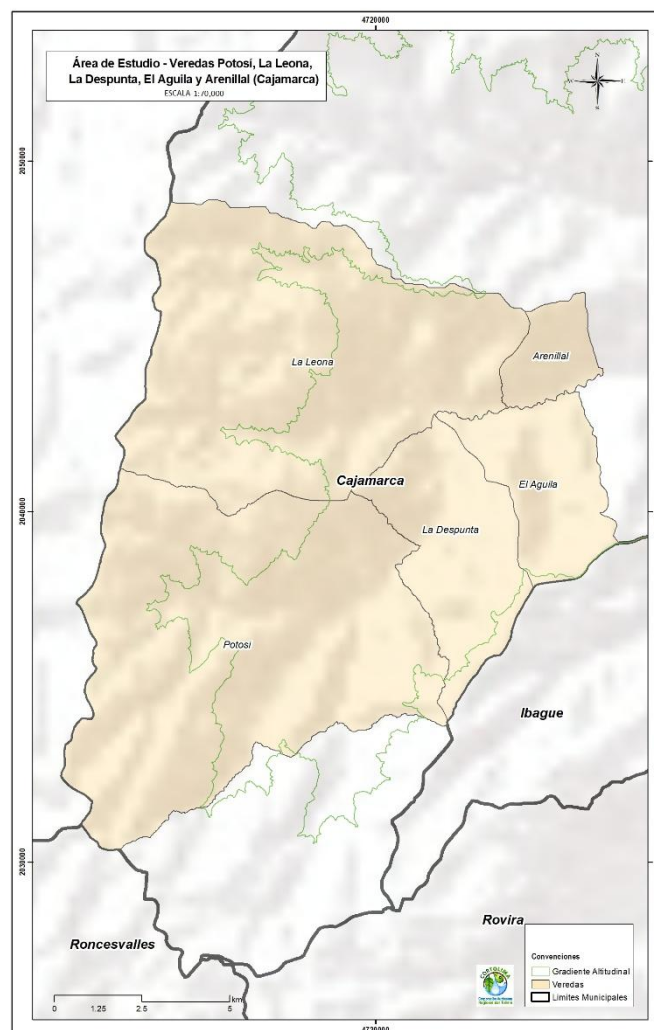


Ilustración 6. *Bosque de Palma de Cera en Cajamarca.*



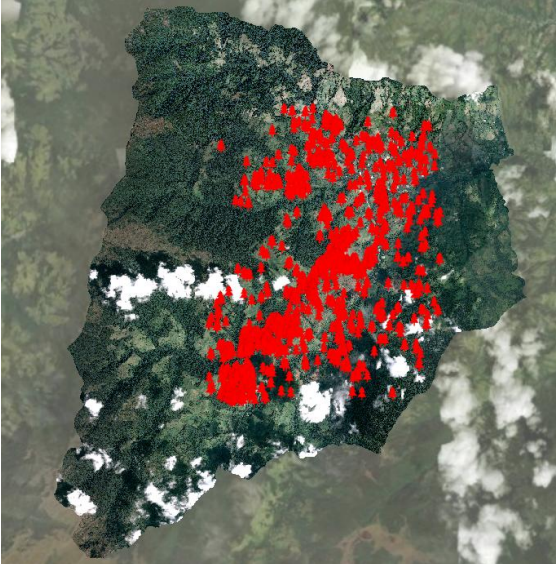
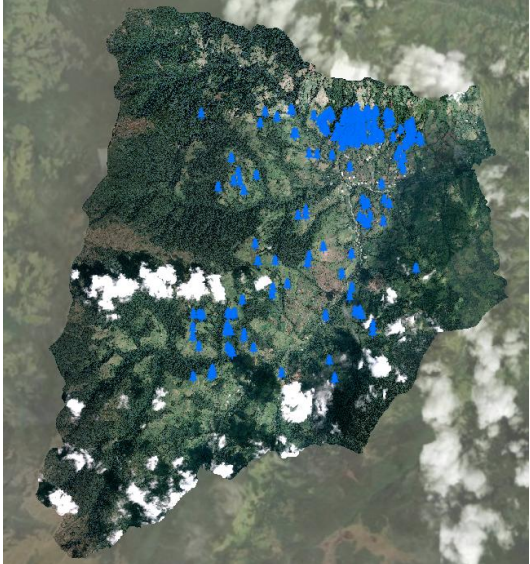
Nota. Fotografía tomada por el equipo técnico de la SPADS. **Fuente:** CORTOLIMA

6. Resultados

Con la información obtenida de acuerdo a la ejecución de los modelos desarrollados en las dos áreas de interés, las cuales fueron acotadas con el gradiente altitudinal de distribución de la palma de cera y las coberturas de palma identificadas por interpretación visual de las imágenes de satélite se pudo obtener las áreas definidas en el presente estudio.

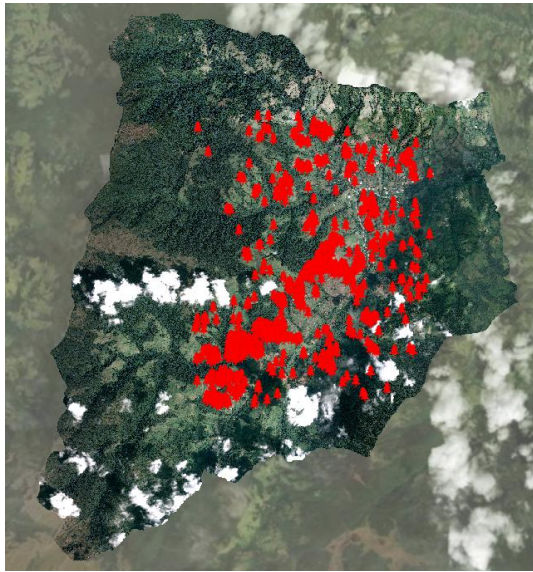
En este sentido la tabla 3 y 4 muestran los modelos desarrollados en la fase metodológica y que indican la dispersión de los palmares asociados a potreros, donde se evidenciaron los netamente “Aislados” y los denominados “Aislados Nadir”, permitiendo ajustar los resultados de acuerdo a la composición de las imágenes de satélite, que según lo evidenciado en la fase metodológica, son obtenidas en fechas y horas diferentes, lo que genera una diferencia en las sombras que se presentan en los palmares asociados a potreros; y que dificulta en cierta medida generar un mayor criterio del modelo a la hora de realizar el conteo de los individuos de palma, esto permitió generar con el desarrollo de los dos modelos, comparaciones visuales en lugares donde se tiene certeza de la presencia de palma y arrojó una precisión promedio para cada uno de ellos

Tabla 3. *Tipos de Modelos en el sector de Anaimé*

| Modelo Mask RCNN | |
|---|--|
| Palmas Aisladas | Palmas Aisladas Nadir |
|  |  |

Modelo DETReg PASCAL

Palmas Aisladas



Palmas Aisladas Nadir

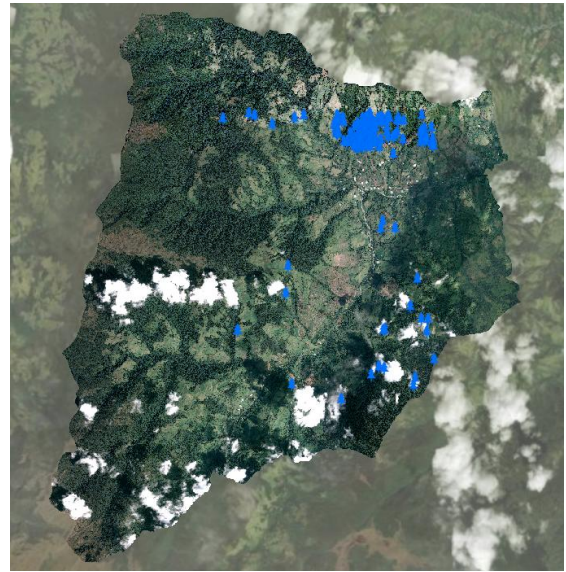
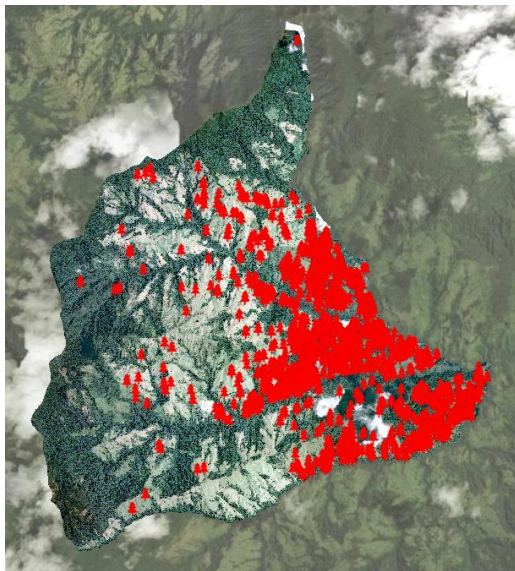


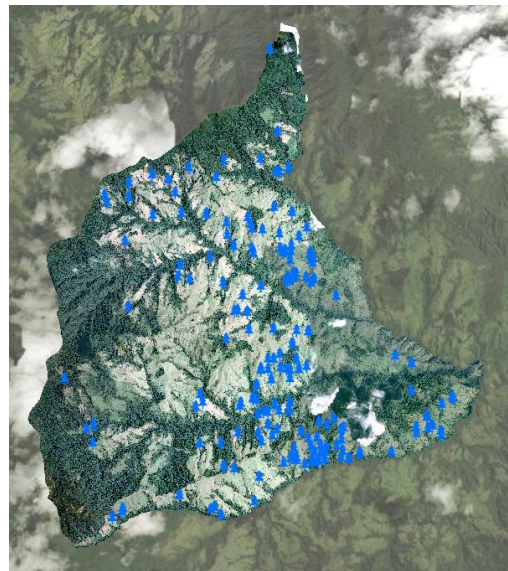
Tabla 4. *Tipos de Modelos en el sector de La Ceja*

Modelo Mask RCNN

Palmas Aisladas



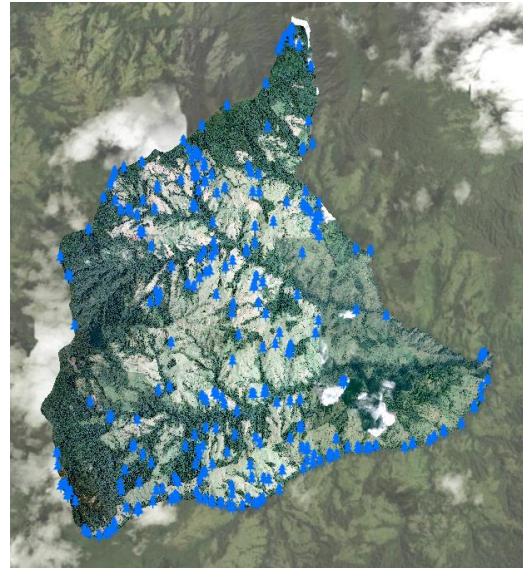
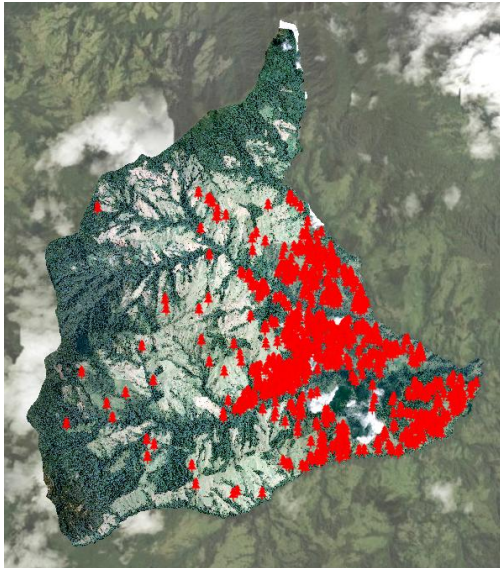
Palmas Aisladas Nadir



Modelo DETReg PASCAL

Palmas Aisladas

Palmas Aisladas Nadir



Una vez obtenidos los datos relacionados a los palmares Aislados y Aislados Nadir, las geometrías de las capas resultantes arrojaron una cantidad determinada de polígonos identificando en teoría cada una de las palmas, tal y como se muestra a continuación en la tabla 5

Tabla 5. Valores obtenidos por clase y modelo

| Sector | Modelo | Clase | Valor | Total |
|--------|-------------------------|--------------------------|-------|-------|
| Anaimé | Modelo Mask RCNN | Palmas Aisladas | 2698 | 3066 |
| | | Palmas Aisladas Nadir | 368 | |
| | Modelo DETReg PASCAL | Palmas Aisladas | 1027 | 1245 |
| | | Palmas Aisladas Nadir | 218 | |

| | | | |
|----------------------|-----------------------|------|------|
| | Palmas Aisladas | 2558 | |
| Modelo Mask RCNN | <hr/> | | 2460 |
| | Palmas Aisladas Nadir | 202 | |
| La Ceja | <hr/> | | |
| Modelo DETReg PASCAL | Palmas Aisladas | 1020 | 1303 |
| | Palmas Aisladas Nadir | 283 | |

Según la información obtenida, se puede identificar que hay una gran cantidad de polígonos encontrados en el modelo Mask RCNN, el cual generó más del doble de los identificados por el modelo DETReg PASCAL, realizando una revisión visual de los datos resultantes, se puede determinar que el primer modelo identifica formas similares a la estructura de las palmas y las identifica como polígonos nuevos en el conteo, por lo que la precisión establecida no es la más eficiente, así pues al realizar la validación de la precisión de los dos modelos se pudo obtener las siguientes métricas:

La precisión promedio para los modelos son las siguientes:

- Modelo MaskRCNN = **0.698469**
- Modelo DETReg PASCAL: Palmas Aisladas: **0.725**, Palmas Aisladas Nadir: **0.831**

Así pues, se determinaron los valores obtenidos en el modelo DETReg PASCAL para el conteo de individuos de palma de cera asociados a coberturas de pasto, más detalladamente en potreros, siendo esto un avance en la determinación de un valor aproximado, pero que requiere de un levantamiento de información en campo para obtener los valores de densidad de individuos por área, que permita dar un sustento técnico a la información aquí reportada. Se presenta en la siguiente imagen la distribución de las palmas de cera en el sector de Anaime y La Ceja en relación a las coberturas de pastos o potreros.

Figura 17. Individuos de *Ceroxylon* Quindiuense identificadas en el Sector de Anaimé

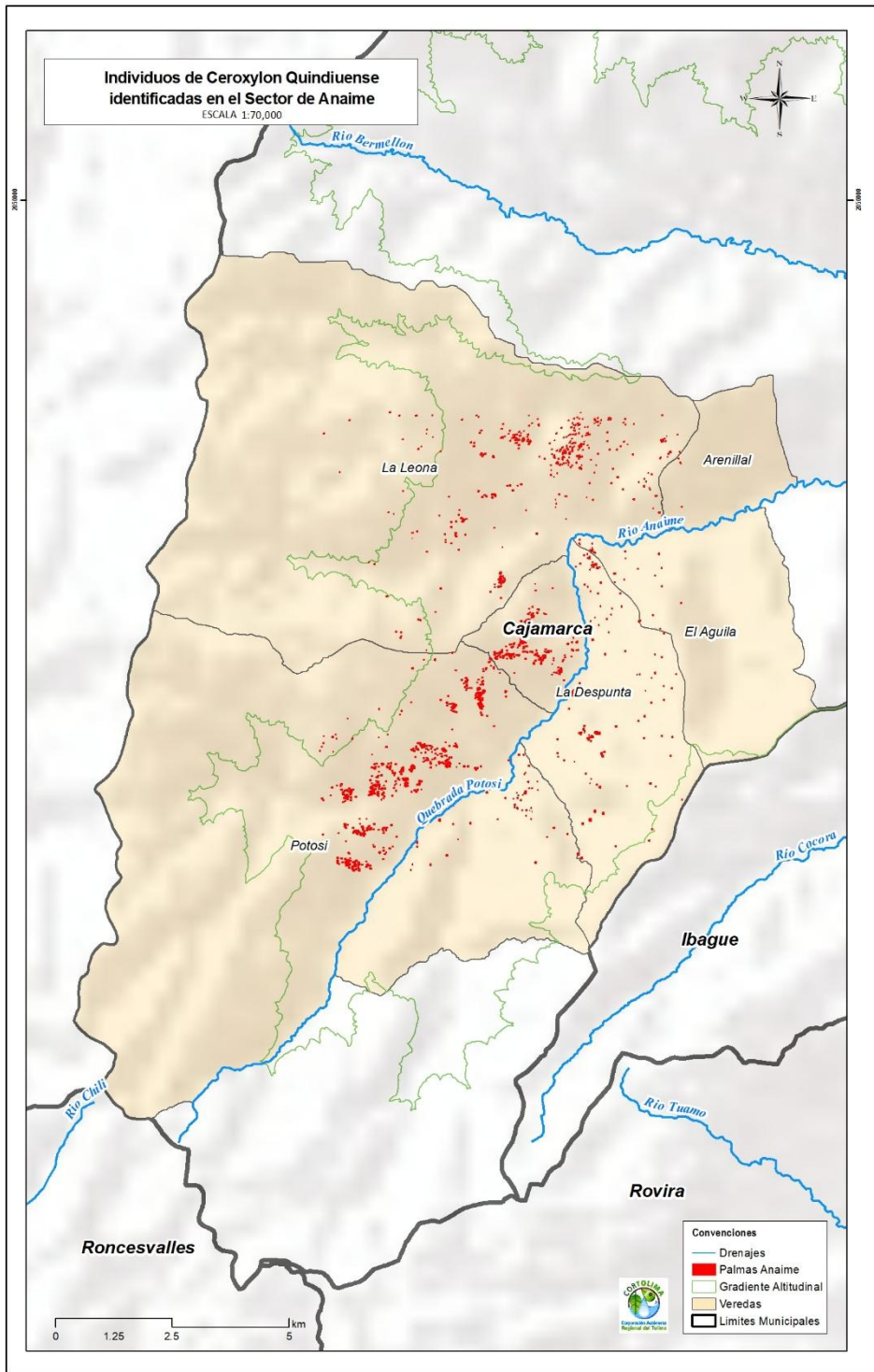
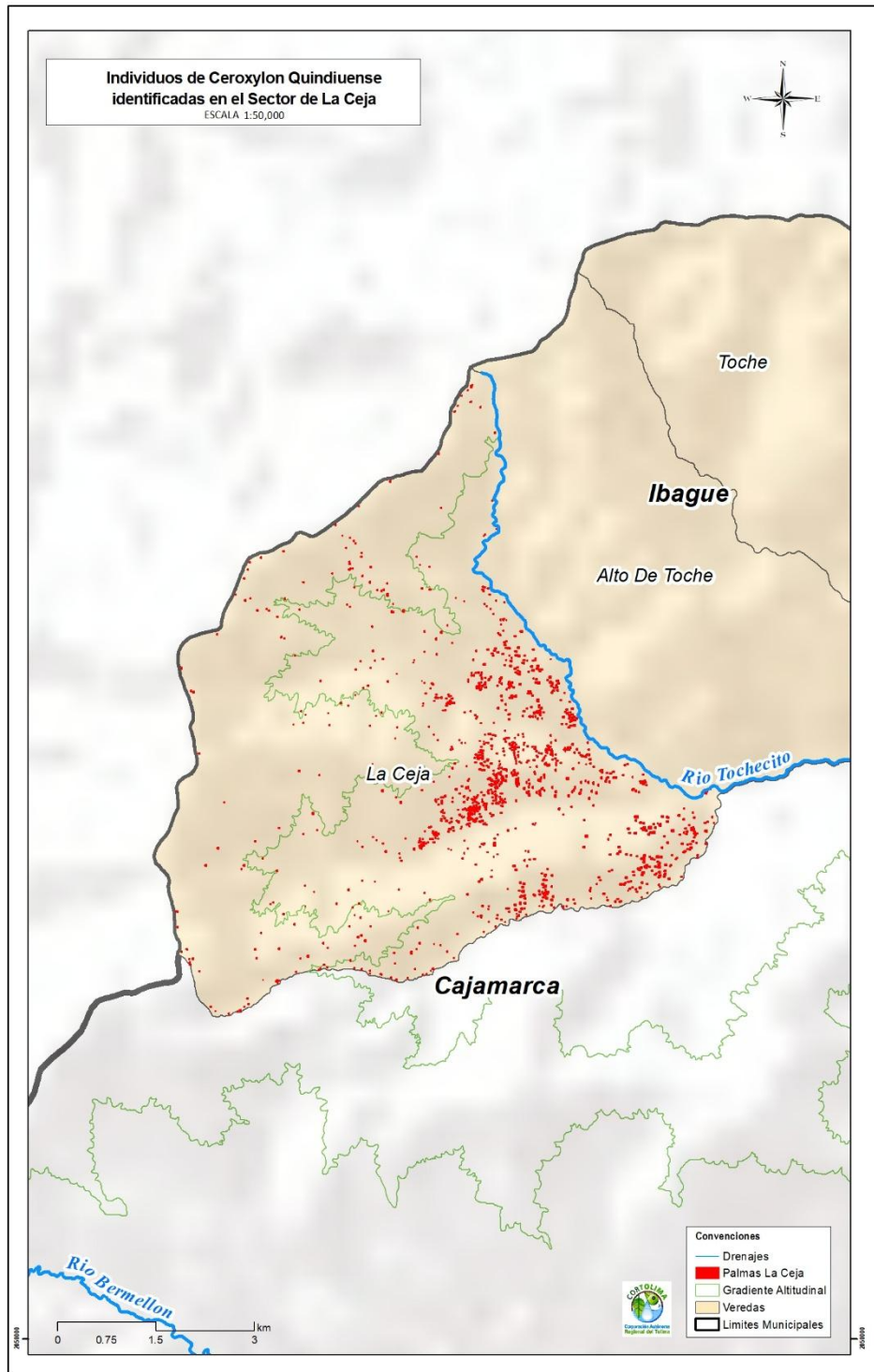


Figura 18. Individuos de *Ceroxylon* Quindiuense identificadas en el Sector de Anaimé



Seguidamente se presentan los principales resultados obtenidos de las diferentes fases propuestas para el censo de Palma de Cera en el departamento del Tolima.

6.1. Resultados Fase de Caracterización.

El análisis de contenido de los estudios realizados permitió conocer como algunas entidades territoriales de orden nacional viene avanzando en el censo de la Palma de Cera, en ciertas zonas del país.

En primera instancia, el Producto 5. con la estimación de la densidad poblacional de Palma de Cera en dos (2) zonas de Colombia, convenio realizado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y el IAvH:

Tabla 6. *Análisis de contenido resultados de estimación de la densidad poblacional de Palma de Cera en Toche y San Juanito.*

| Criterios | Descripción |
|------------------|--|
| Objetivo | Determinar el número de individuos de Ceroxylon quindiuense y su densidad como información base para realizar la evaluación del cumplimiento del Plan de Conservación, manejo y uso sostenible de la palma de cera del Quindío. |
| Antecedentes | <p>Sobre la cuantificación de la palma de cera y el cálculo de la densidad en las zonas de estudio existen cuatro (4) estudios con diferentes orientaciones metodológica y resultados, que incluyen estimaciones a través de muestreos de campo y mediante el uso de sensores remotos, siendo más numerosa la literatura para la Ventana de Toche y otras zonas con presencia de palma de la cordillera central que para el caso de la ventana de San Juanito.</p> <ul style="list-style-type: none"> Plan de Conservación, Manejo y Uso Sostenible de la Palma de Cera del Quindío (Ceroxylon quindiuense) (Bernal, Galeano, & Danín, 2015), en el cual se abordan diferentes ventanas incluyendo la de Toche. Dentro de ésta, se brindan algunas estimaciones de área a partir de la observación de expertos, por ejemplo que los fragmentos de palma ocupan 900 hectáreas (ha) que equivale a un 20% de la cuenca de Toche, lo que siguiendo las densidades planteadas por Girón-Vanderhuck, (1999) de 290-840 palmas/ha ($x= 590$ palmas/ha) les permitió estimar una cantidad de 510.00 palmas en áreas de bosque sumadas a las 72.000 palmas |

localizadas en matrices de potreros que cuentan con 1200 ha (densidad de 60 palmas por hectárea).

- Plan de Manejo Regional para la Conservación de la Palma de Cera *Ceroxylon Quindiuense* en el Departamento de Tolima, en este trabajo se calculó la cantidad y densidad de palmas en la Ventana de Toche en parcelas de 0,1 ha. La densidad de palmas adultas estimada en fragmentos de bosques fue de 300 a 400 palmas/ha ($x=350$ palmas) y en áreas de potrero de 50 palmas/ha. Con base en estos datos se estimó el número de palmas en 37.500 dentro de una finca llamada Las Cruces, que tiene aproximadamente 150 ha (100 ha de bosque y 50 ha de potrero).
- El enfoque basado en el análisis de Sensores Remotos incluye el trabajo de Ramos & Vecino, (2022), en el cual se evaluaron dos ventanas, una en el Valle de Cocora, municipio de Salento y otra en las veredas de Alto de Toche - La Ceja, que coincide con la ventana de análisis. En esta se emplearon imágenes satelitales WorldView-2 y 3 de 2019 y 2020 con una resolución espacial de 30 cm (tamaño de Pixel) y se emplearon herramientas de Deep Learning, del Software ArcGis. Para las veredas de Toche, se obtuvo una confianza media en la detección de 68.6%, con limitaciones para distinguir individuos especialmente en las áreas de matriz de bosque y en matriz de palma donde el algoritmo presenta fallas por la superposición entre individuos. La densidad máxima se calculó en 300 palmas/ha y el total de palmas estimadas dentro de la ventana de 6500 ha fue de 130.000 a 175.000 individuos.
- Tomando un enfoque similar, pero en el área de San Juanito – Meta, Skillings, (2019) usó fotografías aéreas con 10 centímetros de resolución espacial obtenidas con drones, las cuales fueron analizadas con algoritmos de Deep Learning similares a los empleados por Ramos & Vecino, (2022). El estudio permitió identificar 1461 individuos dentro de las 1594 ha cubiertas por el fotomosaico obtenido con drone, lo que equivale a una densidad media de 0.92 palmas/ha. Las densidades se estimaron por matriz de cobertura en 1165 individuos dentro de bosque maduro (1,04 palmas/ha), 97 en bosque secundario (0,5 palmas/ha) y 199 en pastos (0,77 palmas/ha).

Localización

Toche (Ibagué – Tolima) y San Juanito (San Juanito – Meta), cuentan con información de alta resolución, requerida para los análisis y una baja cobertura de nubes.

Área de estudio

La definición de las áreas de estudio se hizo con base a los polígonos trazados en el Plan de conservación, manejo y uso sostenible de la palma de cera del Quindío (Ceroxylon quindiuense) (Bernal et al., 2015).

En el caso de la ventana de San Juanito, Meta, que no se encuentra identificada en el plan de manejo, se tomó como referencia las Veredas descritas por Skillings (2019), además de un polígono del rango altitudinal óptimo (2000 a 2800 msnm (Ibíd.) y una grilla de hexágonos de 3 km que amplía el área de búsqueda.

El proceso de búsqueda de información definió que las ventanas seleccionadas fueran Toche y San Juanito donde una vez descartadas las áreas con vacíos de información por ausencia de datos o nubes se cubrieron 1733 ha y 9417 ha, respectivamente.

Técnicas de sensores remotos que tienen como ventaja cubrir grandes extensiones de tierra lo que por otros métodos es limitado.

Los procedimientos incluyeron el manejo de técnicas de fotogrametría, fotointerpretación, Sistemas de Información geográfica estadística y Machine Learning. Como resultado se obtuvieron unas salidas que permiten dar respuesta al objetivo planteado y comparar los resultados con otros estudios realizados, lo que en conjunto contribuirá a tomar decisiones bien informadas que promuevan la conservación de la especie.

Datos empleados

Métodos

| Ventana | Datos | Identificador | Resolución Espacial | Año | Fuente |
|-------------|--------------------|--|---------------------|------|--------------------|
| Toche | Fotografías aéreas | Vuelo 24303007092019, fotografías 23 a 43; 55 a 68 y 93 a112 | 15 cm | 2019 | IGAC |
| | Imagen Sentinel-2 | 20220108T152641_20220108T153118_T18NVK 20220108T152641_20220108T153118_T18NVK | 10m | 2022 | Copernicus - ESA |
| San Juanito | Imagen Maxar | N/A | 30 cm | 2023 | Maxar Technologies |
| | Imagen Sentinel | 20230128T152639_20230128T152835_T18NXL | 10m | 2022 | Copernicus - ESA |

- Los datos de mayor utilidad identificados fueron los de alta resolución, lo que para el caso de San Juanito correspondió a la imagen Maxar, la cual se usó sobre la plataforma de Google Earth Engine, donde no requirió procesamiento alguno.
- En el caso de las fotografías aéreas, fue necesario efectuar procesos de ortorectificación, para lo cual se usaron los parámetros de

orientación y posición que brinda la base de datos de Colombia en Mapas1, el modelo digital del terreno ajustado por el IGAC y como herramientas software de fotogrametría.

- En el caso de las imágenes Sentinel-2, se usaron las encontradas en el nivel de procesamiento 2A, es decir con correcciones geométricas y radiométricas, cuyos valores describen la reflectancia en la superficie (ESA, 2013), lo que la diferencia de imágenes en niveles de procesamiento menores como las 1-C, que mantienen los efectos de la atmosfera registrados por el sensor (Figura 2). En el caso de Toche para cubrir el área de estudio completa fue necesario hacer un mosaico de dos imágenes obtenidas en la misma fecha

Se emplearon básicamente dos (2) métodos de interpretación, el primero, aplicado a las imágenes de alta resolución, que se basó en la identificación visual aplicando criterios clásicos de fotointerpretación, que consideran criterios como la forma, el tamaño, color, textura, sombras, patrón de distribución y asociación con otros elementos (Melo & Camacho, 2005). En este proceso se creó una geodatabase con la cual obtener información espacialmente explícita de palmas relativamente dispersas, parches de palmas altamente densos, y vacíos de información relacionados fundamentalmente con la presencia de nubes. La GDB se complementa con el área que define el área de estudio (Ventana) y una capa de Cuadrángulos que sirvió para dar un orden estructurado al proceso de interpretación

Proceso de interpretación

Para el cálculo de la cantidad de palmas en los parches más densamente poblados por la especie, se realizaron subventanas de 10 x 10 metros, se seleccionaron las totalmente contenidas dentro de los parches y se muestreó un conjunto representativo éstas, sobre las cuales se contó la cantidad de palmas para posteriormente efectuar un proceso de interpolación llamado Spline-Barriers usando el Software ArcGIS (ESRI, 2022). El muestreo tuvo un tamaño de 87 subventanas del total de los 4891 existentes, número que se definió aplicando las fórmulas para la estimación del tamaño de muestreo sugeridas por Cochran, (1977) (Ecuación 1) ajustado para muestras finitas (Ecuación 2).

Partiendo de que se contó con datos que tiene un alto nivel de detalle que presentan una gran capacidad para poder identificar las palmas, el valor crítico se definió con un intervalo de confianza de 90%, el porcentaje de

acierto estimado se calculó en 90% y el de error en 10% mientras que el nivel de error permitido fue de 5%.

Ecuación 1: fórmula para el cálculo del tamaño de una muestra de acuerdo a Cochran (1977)

$$n = \frac{Z^2 * p * q}{E^2}$$

Donde:

Z = valor crítico en una distribución normal con un intervalo de confianza definido

p = Porcentaje de acierto estimado

q = Porcentaje de error estimado

E = Nivel de error permitido

Ecuación 2: ajuste para muestras finitas.

$$n = \frac{n_0}{1 + (n_0 - 1)/N}$$

Donde:

n₀ = número de muestras sin ajuste de población finita (resultado de la ecuación 1)

N = Tamaño de la población

En el caso de las imágenes Satelitales-2, que se usaron para obtener una visión más general del paisaje, se realizó de igual forma un proceso de interpretación visual, pero en este caso para aplicar los algoritmos de clasificación supervisada Random Forest, Maquinas de Soporte Vectorial (SVM) y Mínima distancia sobre la plataforma de Google Earth Engine. Las bandas usadas en este proceso fueron las del visible (azul, rojo y verde) y el infrarrojo cercano, que son las bandas que en el sensor Sentinel-2 cuentan con una resolución espacial de 10 metros. Se adicionó un índice de vegetación NDVI y una capa de textura, generada mediante unos algoritmos de entropía (Haralick, Shanmugam, & Dinstein, 1973), aplicado justamente a la capa de NDVI.

Debido a que se emplearon datos con alta resolución, fue escasa la disponibilidad de datos más detallados; el trabajo de campo que permitiría realizar la validación, pues requiere de una toma de datos en múltiples

puntos de muestreo, lo que excedía el alcance del estudio. Un caso particular se dio en la ventana de San Juanito, donde fue posible acceder a los datos obtenidos con imágenes de mayor resolución por Skillings (2019), con los cuales fue posible establecer la diferencia entre la cantidad de palmas de ambas fuentes y la correlación entre las densidades.

En cuanto a las clasificaciones de coberturas que se pretendió mapear con las imágenes Sentinel-2 aplicando los algoritmos anteriormente mencionados, los procesos de clasificación fueron evaluados, mediante tres indicadores: exactitud total y por clase, indicador Kappa y matrices de error que permiten identificar errores de comisión (relacionados con la exactitud del productor) y de omisión (relacionados con la exactitud del usuario) (Congalton, 2001). Los mejores resultados obtenidos mediante estos análisis fueron empleados con el fin de sumar a cada una de las palmas una característica de matriz del paisaje, lo que sirvió para establecer la incidencia de las coberturas en su densidad.

La palma de cera del Quindío, *Ceroxylon quindiuense*, es una especie que se encuentra en los Bosques de niebla tropicales, lo que implica que las áreas en las que se encuentra tienen una alta presencia de nubes y bruma atmosférica, lo que dificulta la obtención de información geoespacial, que en tal sentido es bastante escasa.

En la ventana de Toche los datos corresponden a un conjunto de fotografías aéreas que cuentan con una alta resolución espacial (15 cm) una antigüedad inferior a cinco años (30 de agosto de 2019), pero que no cubren el 100% del área. Esta constituyó la única fuente de información de alta resolución puesto que imágenes obtenidas por otros sensores como los de Maxar Technologies o los de la base de datos de Esri no se encuentran disponibles.

Resultados

Para la ventana de San Juanito no se identificaron fotografías aéreas de alta resolución en la base de datos de Colombia en Mapas, las imágenes de la base de datos de Esri presentan resoluciones espaciales bajas mientras que se encontraron imágenes Maxar Technologies con 30 cm de resolución de 2023, que cubren la mayor parte del área, por lo que fueron finalmente seleccionadas para adelantar el proceso de identificación de las palmas.

Con respecto a imágenes de resolución media del sensor Sentinel-2, después de una exhaustiva búsqueda en la base de datos de Copernicus a través de la plataforma Google Earth Engine, se encontraron imágenes para la zona de

San Juanito del 28 de enero de 2023 y para la zona de Toche dos (2) imágenes, ambas del 8 de enero de 2022. La de San Juanito Presenta un bajo porcentaje de nubes dentro del área de estudio, mientras que las de Toche presentan algunas nubes al costado noroccidental y ciertas diferencias radiométricas entre ellas pese a tener un nivel de procesamiento A2.

Criterios de interpretación de las palmas

Las palmas básicamente se encontraron en tres tipos de matrices de paisaje: Bosque, pastos y Palma. Los parámetros pictórico-morfológicos que permitieron su identificación fueron.

- **Forma:** la característica principal de la palma es su forma arrosetada, que permite ser distinguida de entre otros tipos de especies vegetales. Con niveles altos de resolución y según la posición sensor –palma se puede llegar a ver su tronco, de forma lineal.
- **Tamaño:** de acuerdo a mediciones realizadas sobre las imágenes el dosel alcanza un diámetro que oscila entre 7 y 12 metros aproximadamente.
- **Color:** El color es característicamente verde relativamente oscuro, en ocasiones con algunas hojas más claras hacia las puntas.
- **Patrón:** es en general disperso a excepción de los parches de palma donde se agrupan a muy cortas distancias unas de otras.
- **Textura:** evidencian una textura gruesa, similar a la de los bosques, pero diferenciado especialmente por la forma que es el principal atributo pictórico morfológico que permite diferenciar la palma de entre otras especies.
- **Sombras:** especialmente se pueden observar en áreas abiertas donde es menos densa la vegetación, se extienden en una dirección definida por la posición del sol, que en ocasiones se alargan o lo contrario, dependiendo la pendiente y la orientación del terreno.

Número de Palmas en Toche

Para el área cubierta por la ventana de Toche que fue de 1733 ha, se contabilizaron un total de 28.900 palmas, de éstas el 42% son dispersas mientras que el 58% se encuentran en zonas de alta densidad de palma. El conteo de las palmas dispersas se hizo por individuo mientras que, en las áreas de parches de palma, donde la densidad es alta, siguiendo la metodología se realizó la estimación a partir del conteo de palmas en cuadros de 10 x 10 metros, en los cuales, para los lugares más densos se encontraron hasta 4 palmas, lo que da como suma una densidad máxima posible de 400 palmas por hectárea.

Los parches más grandes de palma, que presentan la mayor densidad y cantidad de palmas se encuentran principalmente sobre ambas laderas de la quebrada San Rafael y Tohecito, así como en la divisoria de aguas entre la quebrada San Rafael y la quebrada Pajarito. El parche más grande identificado tiene un área de 13 ha mientras que el más pequeño tiene unos 130 m², el tamaño promedio es de 1.47 ha y la suma de todas sus áreas es de 61.6 ha. Por otra parte, las áreas con menos cantidad de palmas son las zonas de borde del área de estudio que corresponden a los sectores más altos, los cuales alcanzan aproximadamente 3000 m s. n. m.

Densidad de las palmas en Toche

De las 1733 hectáreas evaluadas, 522 es decir cerca de la tercera parte no reportan presencias de palma. De los 1211 cuadros de una hectárea con individuos, 171 (14%) reportan al menos uno, mientras que cerca del 10% de los que presentan mayor densidad cuentan con 80 o más individuos por hectárea y el 50% presentan 8 o menos individuos. Por su parte las áreas con mayor densidad de palmas que agrupan 16598 palmas en 61.6 hectáreas indican una densidad promedio en estos parches de 270 palmas por hectárea.

Análisis de imágenes Sentinel-2 en Toche

Debido a la presencia de parches grandes de palma en el área de estudio se realizó una prueba para obtener un mapa que permitiera identificar otros parches de palma. Para esto se entrenaron diferentes algoritmos con las áreas de parches de palma, más otras tomadas en bosques y en pastos, que al final permitieron obtener un mapa con estos tres (3) tipos de coberturas para cada uno de los 3 algoritmos empleados. El resultado deja observar una baja separabilidad entre palma y bosques, lo que en buena parte puede deberse a las diferencias radiométricas entre la imagen de la parte norte y la del sur que pese a tener un alto nivel de procesamiento, generan sesgos evidentes en todas las clasificaciones. Desde el punto de vista de la evaluación de exactitud, los mejores valores se obtuvieron con el algoritmo de Maquinas de soporte vectorial (SVM), con una exactitud total de 76% y un Kappa que al reflejar errores de comisión y de omisión arroja valores más bajos con 66%. El resultado con Random Forest es muy similar con una exactitud total idéntica y una kappa de 1% menos, el algoritmo de mínima distancia sí llegó a obtener estadísticos más bajos. se pudo observar que el 87% de las áreas correspondientes realmente a palma quedaron bien clasificadas, sin embargo, solo el 58% de las áreas estimadas en la clasificación como palma

corresponden realmente a tal (Tabla 3), el resto corresponden realmente a bosques (42%) y solo un pequeño porcentaje a pastos (

Si bien los resultados obtenidos muestran un alcance limitado de las imágenes Sentinel-2 y de los algoritmos para la identificación de *Ceroxylon quindiuense*, la capacidad para diferenciar los pastos y el hecho de que se encuentren ya mapeados los parches de palma permite hacer una identificación de la matriz en la que se encuentran los diferentes individuos. Se ha establecido previamente que la cantidad de individuos en parches de palma es de 16.598, en matriz de bosque se encuentran 6792 y en matriz de pastos 5507. Considerando que el área calculada para bosques con presencia de palmas es de 614 ha y la de pastos de 535 ha, la densidad de individuos es de aproximadamente 11 en bosques y 10 en pastos, lo que contrasta con la alta densidad de palmas en parches donde predomina la especie que como se mencionó alcanzan 270 palmas/ha.

A diferencia de la condición de Toche, que reportó parches densos de palma, en San Juanito los individuos fueron en general dispersos entre matrices de bosque y de pastos. El área total de la ventana de búsqueda (luego de excluir las áreas sin información) fue de 9417 ha, en ésta fueron identificados un total de 1138 individuos. Estos se distribuyen principalmente sobre la parte alta de la quebrada la Virginia, hacia el norte del área de estudio, lo que coincide con las Veredas el Tablón y de San Luis de Toledo

Densidad de Palmas en San Juanito

Número de Palmas en San Juanito

De las 9417 hectáreas revisadas, 436 es decir poco menos del 5% se reportó presencia de palmas, estas áreas presentan una alta asimetría en sus valores de densidad con un mínimo de 1 palma por hectárea y un máximo de 31. De los cuadros de una hectárea con individuos cerca de la mitad tienen 1 y solo 12 presentan una densidad mayor o igual a 10, esto quiere decir que cerca del 47% de las áreas tienen entre dos (2) y nueve (9) individuos por hectárea. En cuanto a la ubicación de las zonas de mayor densidad coinciden con la capa de puntos, siendo los mayores valores en cercanía a las veredas de El Tablón y de San Luis de Toledo.

Valoración de la exactitud con fuente mayor resolución en San Juanito

Considerando la disponibilidad de información obtenida con productos de mayor resolución se hizo una comparación de las densidades obtenidas en el

trabajo de Skillings (2019) y los resultados obtenidos en la interpretación de este trabajo. Como resultado se obtuvo que con una mayor resolución se logra discriminar un mayor número de palmas considerando que el número de palmas identificados por Skillings fue de 1461, mientras que en la interpretación realizada en el presente trabajo el número fue de 1138. No obstante, al correlacionar la densidad de las palmas el coeficiente de correlación es de 85%, lo que quiere decir que puede haber cierto grado de omisión al emplear datos de menor resolución, pero la distribución espacial de las áreas con densidades altas, medias y bajas está bien representada en ambos productos.

Análisis de imágenes Sentinel-2 en San Juanito

Con el fin de dar un panorama de la matriz en la que se encuentran los individuos de *Ceroxylon* quindiuense, se generó una clasificación usando las mismas bandas espectrales y algoritmos aplicados en el área de Toche, pero al no existir parches de palma con un área suficientemente extensa para poder ser detectados por los sensores Sentinel-2 se prescindió de esta categoría, de manera que se obtuvo un mapa de bosque y pastos, que son las matrices más comunes del paisaje en San Juanito para los individuos de palma. La imagen relativamente homogénea y con pocas nubes permitió obtener resultados con un aspecto razonable para los algoritmos evaluados, a excepción del de mínima distancia que parece sobreestimar las áreas de pastos.

Desde el punto de vista de la evaluación de exactitud, los resultados fueron casi iguales entre el algoritmo de Random Forest y el de SVM, en ambos casos bastante altos, con una exactitud total de 99% y un Kappa de 98%; el algoritmo de mínima distancia presentó en cambio valores más bajos de 93% y 84% respectivamente. Para el cálculo de individuos por tipo de matriz del paisaje se optó por usar el mapa obtenido con el Algoritmo de Random Forest, que presenta unos estadísticos que indican una exactitud ligeramente mayor; en este, la capacidad ya identificada de discriminar bosque de pastos se hace aún más evidente mediante el análisis de la matriz de confusión, la cual muestran cerca de 15 píxeles mal clasificados en pastos y un número similar en bosques.

La cantidad de individuos en matriz de bosque fue de 1007, mientras que la cantidad de individuos en matriz de pastos fue de 131. Si se considera que de las áreas con palma 363 hectáreas corresponden a pastos y 72 a pastos se puede establecer que la densidad promedio en bosque es de 2.77 individuos

por ha mientras que en pastos es de 1.8, lo que significa que en las áreas de bosque la densidad de individuos adultos duplica el promedio de palmas identificadas en matriz de pastos.

El presente trabajo adoptó un enfoque en el que se cubre la máxima extensión geográfica posible lo que implicó la implementación de técnicas de sensores remotos.

Discusión final

- Los resultados difieren de los obtenidos a través de métodos de campo como los de Bernal et al., (2015) donde para la ventana de Toche se llegaron a estimar densidades de palmas de hasta 290 a 840 palmas/ha ($X= 590$ palmas/ha), lo que sobrepasa las zonas de mayor densidad identificadas en este estudio que fueron de hasta 361 palmas/ha. La densidad en potreros también excede la estimada en el presente trabajo, (60 frente a 10 palmas X ha), todo lo que genera una cuantificación de 600.000 palmas en 2100 ha, superando con creces los 28.900 individuos cuantificados en las 1733 hectáreas revisadas en el presente trabajo.
- En el caso del Plan regional de conservación de la palma (Reinoso, 2015), los resultados difieren un poco menos, aunque las estimaciones siguen siendo superiores a las aquí encontradas, la densidad de palmas adultas estimada en fragmentos de bosques fue de 300 a 400 palmas/ha ($x=350$ palmas), lo que supone unos máximos similares a los encontrados en el presente trabajo sin embargo un promedio mayor, (350 frente a 261 palmas/ha). En las áreas de potrero la diferencia es aún más marcada (de 50 frente a 11 palmas/ha), lo que en suma lleva a una estimación de cantidad de palmas considerable, de aproximadamente 37.500 en un área de 150 ha.
- Los estudios realizados por Drone e imágenes de alta resolución también marcan cantidades superiores, aunque más similares a las encontradas el presente estudio, por ejemplo, en el trabajo de Ramos & Vecino (2022), obtuvieron una densidad máxima de 300 palmas/ha y el total de palmas estimadas dentro de la ventana de 6500 ha fue de 130.000 a 175.000 individuos. Si, se extrapolara la cantidad de palmas del presente estudio a un área equivalente el valor obtenido dentro del rango mínimo sería de 34660 palmas, algo más cercano a las 28.900 identificadas, sin embargo, esta estimación es puramente teóricas y permite solo formar una idea de las similitudes entre estudios.
- El trabajo realizado por Skillings (2019) para el área de San Juanito plantea un resultado similar, con un mayor número de palmas (1461 frente a 1138), lo que puede estar relacionado con las diferencias de resolución espacial (10 cm frente a los 30 cm de este estudio). Las

estimaciones de densidad difieren, dado que Skillings calcula la densidad en el área completa de los fotomosaicos mientras que en el presente trabajo se calcula la densidad por cobertura en los cuadros de 1 ha con al menos una palma. Sin embargo, la proporción de palmas por cobertura es similar, en Skillings las palmas en bosques corresponden a 80% y las de pastos a 13%, en el presente estudio estas proporciones son de 88% y 10% respectivamente.

- En resumen, los resultados de un estudio a otro pueden variar significativamente lo que se debe a diversas variables, pero particularmente al enfoque metodológico abordado. Es importante resaltar que los métodos de campo obtienen una información muy exacta, pero solo a escala local y con una cantidad de zonas de muestreo que limitan la capacidad de hacer extrapolaciones fiables, que de hecho no están profundamente descritas en los documentos si bien se menciona el conocimiento experto como parámetro de estimación, lo que no es de menor importancia, pero carece de medidas de exactitud cuantificables.
- De otro lado aspectos relativamente sencillos de medir por interpretación visual con imágenes de alta resolución como la densidad de palmas en potreros no respalda la media calculada en los trabajos de Reinoso, (2015) ni en los de Bernal et al., (2015) (≥ 50 palmas/ha), por lo menos respecto a palmas adultas en la ventana de Toche. En cuanto a los cálculos de densidad en matrices de bosque o palmas el método aplicado en el presente estudio puede tener limitaciones tanto por las dificultades identificadas por Ramos & Vecino para discriminar palmas en este tipo de matrices como por el hecho de que no es una medición directa sino interpolada (no extrapolada). No obstante, lo observado en las imágenes de alta resolución de Toche sugiere que el máximo de palmas en áreas de 10 x 10 metros difícilmente puede alcanzar 8 o incluso 6 palmas, más aún, es difícil mantener esta cantidad constante a lo largo de todo el parche para todos los cuadrángulos de 10 x 10 hasta alcanzar el promedio de 590 palmas/ha.
- Con respecto a los métodos basados en sensores remotos y algoritmos de Deep Learning, se obtuvo una cantidad de palmas que cuenta con una cantidad razonable, sin embargo, niveles de incertidumbre como los reportados por Ramos & Vecino, cercanos al 65% sugieren la necesidad de hacer revisiones que potencien las herramientas y sus resultados para hacerlos suficientemente robustos como para la toma de decisiones en materia de conservación. Sin embargo es recomendable adoptar en futuros estudios de cuantificación y densidad de palma estos enfoques, especialmente el de Skillings (2019), primero porque los vuelos de Drone ofrecen mayores garantías de baja nubosidad que un vuelo tripulado o una imagen Satelital y segundo, porque los algoritmos de aprendizaje

profundo ahorran el considerable esfuerzo que exige una interpretación visual, reducen la subjetividad y generan métricas de modo semiautomatizado que permiten dar cuenta de los niveles de exactitud obtenidos.

Conclusiones

Los estudios para la cuantificación y estimación de la densidad de *Ceroxylon* quindiuense presentan retos importantes debido a la limitada disponibilidad de datos geoespaciales de alta resolución, lo que se relaciona con presencia constante de nubes y bruma atmosférica propia de los bosques húmedos donde habita la especie. Esto se evidenció en las ventanas de búsqueda de San Félix, Roncesvalles y en áreas específicas de Anaime y Toche, donde pese a los esfuerzos por utilizar diversas fuentes, como fotografías aéreas y datos de diferentes sensores, se ha observado una persistente falta de cobertura y calidad en la información recopilada. No obstante, la disponibilidad de datos en Toche permitió identificar una presencia significativa de la palma de cera del Quindío, con un total de 28,900 palmas en 1733 hectáreas, así mismo permitió establecer que la densidad en parches de palmas es de 270/ha, en matrices de cobertura de bosque de 11 y en pastos de 10. La ventana de San Juanito en cambio presenta una presencia mucho menor de la especie, pues en las 9417 ha interpretadas, se obtuvo un total de 1138 individuos, con densidades que oscilan entre 1 y 31 palmas por hectárea, siendo mayor la densidad en bosques que en matrices de pastos, con 2.77 y 1.8 individuos/ha, respectivamente.

En cuanto al análisis de imágenes Sentinel-2 se evidenciaron limitaciones para la identificación de parches de palma, sin embargo, ofrecen la posibilidad de discriminar con un buen nivel de exactitud las matrices de cobertura en las que la presencia de la especie es más común, es decir, bosques y pastos; esto especialmente con el uso de los algoritmos de clasificación Random Forest y SVM. De otra parte, la exactitud en la cantidad y densidad de individuos, medida con fuentes de mayor resolución, refleja un grado aceptable de omisión y una buena capacidad para diferenciar las zonas de alta, media y baja densidad. Los resultados obtenidos difieren de investigaciones anteriores basadas en técnicas de campo, que en términos generales estiman cantidades y densidades mayores de palma, tanto en matrices de bosque como de pastos.

Las estimaciones basadas en drones e imágenes de alta resolución también revelaron variaciones, aunque más cercanas a los resultados del presente trabajo. Estudios posteriores deben contar con muestreos de campo

numerosos ajustados a las exigencias de los métodos estadísticos más robustos que permiten generar interpolaciones más exactas y que en conjunto con los métodos de sensores remotos permitan obtener una cuantificación de individuos y de su densidad tan ajustada a la realidad como sea posible. Con respecto a las técnicas de sensores remotos, se sugiere además la implementación de estrategias efectivas para la adquisición y actualización de datos; en este sentido los drones son una buena opción, dado que ofrecen mayores garantías de obtener información con baja nubosidad, que las de un vuelo tripulado o un Satélite. Adicionalmente, se sugiere emplear algoritmos de aprendizaje profundo, los cuales, a pesar de presentar aún ciertas limitaciones, tiene el potencial de hacer un aporte significativo al reducir el esfuerzo de una interpretación visual, reducir la subjetividad y proporcionar métricas que permiten dar cuenta de los

Nota: Extraído de los resultados de estimación de la densidad poblacional de Palma de Cera en Toche y San Juanito. **Fuente:** (Rojas S. et al, 2023).

Conclusiones

Los métodos convencionales de campo, aunque precisos en escala local, presentan obstáculos insalvables para el monitoreo de poblaciones extensas. Un estudio en la microcuenca del río Tohecito (Tolima) empleó 32 transectos de 50x5 m y 48 subparcelas de 5x5 m, para censar 3,851 individuos en 0.8 ha (IAvH, 2021), donde se presentaron dificultades en el acceso a las áreas de interés por el rango de pendientes presentadas, incrementando riesgos, costos de desplazamiento y tiempos de ejecución de actividades. (un conector que una el requerimiento del censo con las imágenes) Un conector una entre el censo y las imágenes satelitales, aclarando que lo que se necesita será el insumo para hacer el CENSO (que van a hacer con las imágenes)

El uso de imágenes de satélite gratuitas (LandSat, Sentinel) sirve en un inicio para la identificación de tipos de cobertura en áreas extensas de terreno al tener unas resoluciones amplias, que oscilan entre los 10m y 30m; para el caso de la identificación puntual de individuos, la necesidad de adquirir mayor detalle de información implica el uso de imágenes de satélite licenciados, surtiendo como un insumo fundamental en el censo ordenado correlacionado con información de campo, que para el caso de sensores de alta resolución (Worldview o Maxar) permiten obtener información a detalle (50 cm – 1m) y a una temporalidad reciente, para la identificación de elementos más específico. Se aclara que la adquisición del mosaico de imágenes satelitales de alta resolución constituye un insumo técnico fundamental para la elaboración del censo de Palma de Cera (*Ceroxylon quindiuense*) en el sector de Anaime, el cual será desarrollado directamente por CORTOLIMA, a través de su equipo técnico y profesional. Este insumo permitirá orientar y optimizar las labores de verificación en campo, facilitar la localización preliminar de individuos y núcleos poblacionales, así como la planificación de recorridos en zonas de difícil acceso, de forma que el censo resultante integre datos satelitales y trabajo de campo en una única base de información georreferenciada y actualizada. En este sentido se plantea adquirir un set de imágenes de satélite de una temporalidad reciente, compiladas en un mosaico de alta resolución con un porcentaje mínimo de nubes, para lo cual se plantea seguir la metodología aplicada por Vecino, C.F. & Ramos, J.P. (2022), en la cual se realiza una detección de individuos de palma de cera con el uso de herramientas de aprendizaje profundo.

El análisis evidenció que, en sectores con fuerte agrupamiento de palmas, se presenta una subestimación del número real de individuos, debido al solapamiento de copas y fustes que genera detecciones fusionadas. Esta condición limita la capacidad del modelo para discriminar árboles individuales, particularmente cuando los objetos se encuentran a distancias reducidas. Adicionalmente, el uso de algoritmos de supresión de máximos (Non-Maximum Suppression – NMS) tiende a consolidar múltiples palmas cercanas en una sola predicción, especialmente cuando existe alto traslape espacial entre copas, afectando directamente la precisión del conteo.

Se determinó que la resolución espacial de las imágenes constituye un factor determinante en la identificación individual de palmas. En escenarios donde la resolución no permite capturar detalles estructurales finos, el modelo interpreta agrupaciones densas como objetos únicos, reduciendo la detectabilidad de individuos. Esta limitación es particularmente evidente en coberturas boscosas cerradas, donde la separación entre copas no es claramente distinguible desde sensores de media resolución.

Los resultados del estudio muestran una alta dependencia del desempeño del modelo frente a la configuración de parámetros clave, tales como el umbral de confianza (confidence threshold) y el tamaño de teselas de análisis (tile size). Umbrales elevados disminuyen la probabilidad de aceptar detecciones en ambientes complejos, mientras que configuraciones inadecuadas del tamaño de ventana afectan la capacidad del modelo para resolver objetos próximos. Esta sensibilidad implica que, sin una calibración específica para bosques densos de palma de cera, se incrementa el riesgo de omisiones sistemáticas.

Recomendaciones

Con base en las limitaciones evidenciadas durante el proceso de identificación automática de individuos —especialmente la subestimación en zonas con alta densidad de palmas, la dependencia de la resolución espacial y la sensibilidad del modelo frente a sus parámetros operativos— se hace necesario implementar un conjunto de ajustes metodológicos orientados a mejorar la precisión del conteo.

En particular, se recomienda realizar una calibración fina de los parámetros asociados al proceso de inferencia, priorizando escenarios de agrupamiento denso. La reducción controlada del umbral de Non-Maximum Suppression (NMS) permite conservar detecciones cercanas entre sí, disminuyendo el efecto de fusión de múltiples individuos en una sola predicción; no obstante, este ajuste debe balancearse cuidadosamente mediante el control del *overlap ratio*, con el fin de evitar un incremento significativo de falsos positivos. De igual manera, la disminución moderada del *confidence threshold* facilita la aceptación de detecciones con menor probabilidad individual, condición frecuente en coberturas cerradas, donde la señal visual de cada palma se ve limitada por el solapamiento de copas.

Adicionalmente, se reconoce que la resolución espacial de las imágenes constituye un factor crítico para la discriminación de individuos, por lo cual se recomienda priorizar el uso de insumos de mayor resolución siempre que sea posible. Un mayor número de píxeles por palma mejora la capacidad del modelo para separar objetos próximos, reduciendo la probabilidad de detecciones fusionadas u omitidas en bosques densos. Esta mejora puede lograrse mediante el empleo de imágenes satelitales de alta resolución o, de manera complementaria, a través de levantamientos fotogramétricos con UAV, y a futuro mediante la integración de información LiDAR, lo cual permitiría incorporar la dimensión vertical como criterio adicional de separación entre individuos.

Asimismo, el tamaño de las teselas utilizadas durante la inferencia influye directamente en la capacidad del modelo para resolver agrupamientos locales. En este sentido, se recomienda evaluar diferentes configuraciones de *tile size*, privilegiando ventanas de menor tamaño en áreas de alta densidad, donde se requiere un mayor nivel de detalle para la identificación individual, y

manteniendo teselas más amplias en sectores con palmas dispersas, optimizando así el rendimiento computacional. La selección del tamaño óptimo debe definirse mediante pruebas comparativas, buscando maximizar el número de detecciones reales por unidad de área sin comprometer la estabilidad del modelo.

De manera complementaria, se recomienda fortalecer el proceso de entrenamiento mediante la incorporación de muestras representativas de bosques densos de palma de cera, lo cual permitirá que el modelo aprenda patrones espaciales propios de estos escenarios complejos. Esto implica integrar imágenes con distintos niveles de agrupamiento, realizar etiquetados manuales detallados en zonas críticas y ejecutar procesos de *fine-tuning* sobre modelos previamente entrenados, con el propósito de mejorar su capacidad de discriminación frente a objetos superpuestos o muy próximos entre sí.

Finalmente, estas acciones técnicas deben articularse con procesos sistemáticos de validación en campo mediante parcelas de muestreo, lo cual permitirá contrastar los resultados automatizados con observaciones directas, ajustar los parámetros del modelo con base en datos reales y fortalecer la confiabilidad del estimado poblacional final. Este enfoque integrado, que combina optimización algorítmica, mejora de insumos y verificación en terreno, constituye un elemento fundamental para robustecer futuras fases de caracterización y monitoreo de la palma de cera en áreas con alta complejidad estructural.

Referencias Bibliográficas

- Alcaldía Municipal de Cajamarca. (2000). *Esquema de Ordenamiento Territorial: Diagnóstico del Municipio de Cajamarca*. Cajamarca: Alcaldía de Cajamarca Repositorio CDIM - ESAP. recuperado de <https://repositoriocdim.esap.edu.co/server/api/core/bitstreams/6a84ed19-ec36-44ce-8b9e-c3b22f31f885/content>.
- CORTOLIMA & Universidad de Ibagué. (2019). *Ajuste Parcial al Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica río Coello*. Ibagué: Corporación Autónoma Regional del Tolima, Universidad de Ibagué.
- CORTOLIMA. (2020). *Diagnóstico de la Actividad de Turismo municipio de Ibagué y Cajamarca, FASE 1*. Ibagué: Corporación Autónoma Regional del Tolima, proyecto: estructura básica requerida para el ordenamiento participativo de la actividad de turismo de naturaleza en la zona de influencia directa del PNN los nevados, enfocados en los bosques de palma de cera del.
- CORTOLIMA, & UT. (2018). *Caracterización de la Palma de Cera (Ceroxylon quindiuense) y de su flora y fauna asociada en tres áreas definidas del río Toche en los municipios de Ibagué y Cajamarca - Tolima. Fase I*. Ibagué: Grupo de Investigación en Zoología GIZ - Universidad del Tolima, Corporación Autónoma Regional del Tolima .
- CORTOLIMA, & UT. (2019). *Caracterización de la Palma de Cera (Ceroxylon quindiuense) y su flora y fauna asociada en tres áreas (Roncesvalles, Cajamarca, Ibagué) en el Departamentos del Tolima. Fase II*. Ibagué: Grupo de Investigación en Zoología - Universidad del Tolima, Corporación Autónoma Regional del Tolima, Convenio Interadministrativo 566 de 2018.
- Guayacanal. (2022). *Reconocimiento de la flora y fauna de los ecosistemas estratégicos presentes en zona montañosa de las veredas La Luisa, La Paloma Y La Ceja Del municipio de Cajamarca - Tolima*. Ibagué: v1.2. No organization. Dataset/Occurrence. <https://ipt.biodiversidad.co/permisos/resource?r=florayfauna&v=1.2>.
- Koleff, P. (2017). Conceptos básicos sobre las invasiones biológicas y sus impactos a la biodiversidad. . En G. Born-Schmidt, F. Alba, J. Párpal, & P. Koleff, *En Principales retos que enfrenta México ante las especies exóticas invasoras* (pp. 1- 260) (págs. 13-33). México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO).
- Ley 165. (1994). *Ley 165 Por medio de la cual se aprueba el "Convenio sobre la Diversidad Biológica", hecho en Río de Janeiro el 5 de junio de 1992*. Bogotá: Congreso de la República de Colombia, Ministerio de Relaciones Exteriores, Ministerio de Medio Ambiente. visto en <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/06/Ley-165-de-1994.pdf>.
- Ley 99. (1993). *Ley 99. Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional*

- Ambiental, SINA*. Bogotá: Congreso de la República de Colombia, Ministerio del Medio Ambiente. Recuperado de:
http://biblioteca.saludcapital.gov.co/img_upload/03d591f205ab80e521292987c313699c/ley-99-de-1993_1.pdf.
- MADS. (2014). *Política Nacional de la Gestión Integral de la Biodiversidad y los Servicios Ecosistémicos - PNGIBS*. Bogotá: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- MADS. (2015). *Plan de conservación, manejo y uso sostenible de la palma de cera del Quindío (Ceroxulon quindiuense), Árbol Nacional de Colombia*. . Bogotá: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Universidad Nacional de Colombia, Textos: Bernal R., G. Galeano, M. J. Sanin.
- MINAMBIENTE. (2014). *Política Nacional de la Gestión Integral de la Biodiversidad y los Servicios Ecosistémicos - PNGIBS*. Bogotá: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- MINAMBIENTE. (2015). *Plan de conservación, manejo y uso sostenible de la palma de cera del Quindío (Ceroxulon quindiuense), Árbol Nacional de Colombia*. Bogotá: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Universidad Nacional de Colombia, Textos: Bernal R., G. Galeano, M. J. Sanin.
- Mora-Goyes, M. F., & Barrera-Cataño, J. I. (2015). *Catálogo de especies invasoras del territorio CAR*. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana, Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR.
- Muñoz-Rodríguez, C. J. (2023). *Mapa en formato tiff. de la distribución actual y potencial de la especie Ceroxylon quindiuense que estará disponible en la plataforma Biomodelos y documento con el análisis del impacto potencial del cambio climático en la distribución futura de la especie*. Bogotá: Convenio Interadministrativo N° CI-975-2023 (23-198) Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y el Instituto de Investigaciones de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Resolución 0126. (2024). • *Resolución 0126 de 2024 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible “Por la cual se establece el listado oficial de las especies silvestres amenazadas de la diversidad biológica colombiana continental y marino costera, se actualiza el Comité Coor.* Bogotá: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- Resolución 0192. (2014). *La Resolución 0192 de 2014 “Por la cual se establece el listado de las especies silvestres amenazadas de la diversidad biológica colombiana que se encuentran en el territorio nacional, y se dictan otras disposiciones”*. . Bogotá: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- Resolución 1912. (2017). *Resolución 1912 “Por la cual se establece el listado de las especies silvestres amenazadas de la diversidad biológica colombiana continental y marino costera que se encuentran en el territorio nacional, y se dictan otras disposiciones”*. Bogotá: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- Rojas S. et al. (2023). *Documento con los resultados de la estimación de la densidad poblacional de la especie Ceroxylon quindiuense, a partir del análisis de sensores remotos y resultados anteriores*. Bogotá: Instituto de Investigación de

Recursos Biológicos Alexander von Humboldt y Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Sakai et al. (2001). The population biology of invasive species. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 32,. Sakai, A. K., Allendorf, F. W., Holt, J. S., Lodge, D. M., Molofsky, J., With, K. A., ... & McCauley, D. E Extraído de <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.32.081501.114037>, 305-332.

Torres-Morales, G., & Nossa-Silva, D. (2023). *Documento con el análisis del cumplimiento del Plan de Acción para la conservación de la palma de cera del Quindío (Ceroxylon quindiuense), y propuesta de ajustes, identificando las acciones que requieren continuar con la implementación y proyecciones en* . Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt y Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. .