

# **Hacia la conservación sostenible: monitoreo de morichales en la Selva Matavén**



## **REPORTE METODOLÓGICO**

Este estudio fue realizado dentro del marco de las actividades del Proyecto REDD+ Matavén, bajo el contexto del estándar de Verra; Clima, Comunidad y Biodiversidad (CCB).

Preparado por: Ingeniero Miguel Andrés Idrobo

## Contenido

1 INTRODUCCIÓN .....	4
2 MATERIALES .....	5
2.1 Phantom 4 Pro .....	5
2.2 Agisoft Metashape 1.7.0 .....	5
2.3 QGIS 3.28.11 .....	6
2.4 SAGA .....	6
2.5 GeoDa .....	6
3 METODOLOGÍA .....	7
3.1 Selección de los morichales a mapear .....	7
3.2 Proceso fotogramétrico .....	8
3.2 Modelos digitales de terreno .....	9
3.3 Proceso SIG para la generación de datos .....	11
3.3.1 Cuantificación de palmas .....	11
3.3.2 Estimación de la altura por palmas .....	12
3.3.3 Generación de áreas .....	12
4. RESULTADOS .....	16
4.1 Presentación de los morichales .....	16
4.2 Productos Geoespaciales .....	25
4.3 Métricas y comparación entre morichales .....	26
4.4 Análisis de altura de las palmas de moriche .....	29
5. CONCLUSIONES .....	32

## Índice de Mapas

Mapa 1 Ubicación de los morichales en el Resguardo .....	7
Mapa 2 Morichal 1 .....	16
Mapa 3 Morichal 2 .....	17
Mapa 4 Morichal 3 .....	18
Mapa 5 Morichal 4 .....	19
Mapa 6 Morichal 5 .....	20
Mapa 7 Morichal 6 .....	21
Mapa 8 Morichal 7 .....	22
Mapa 9 Morichal 8 .....	23
Mapa 10 Morichal 9 .....	24
Mapa 11 Morichal 10 .....	25

## Índice de Imágenes

Imagen 1 Resolución de una imagen aérea empleando DRON .....	9
Imagen 2 Ilustración de los Modelos de Terreno sobre los Morichales .....	10
Imagen 3 Ilustración de las entidades tipo punto sobre la orto-imagen .....	11
Imagen 4 Altura en la tabla de atributos de las palmas .....	12
Imagen 5 Diferencias entre el piso de un herbazal y el de un ecosistema de morichal .....	13
Imagen 6 Sucesión vegetal dentro de un morichal .....	14
Imagen 7 Sucesión vegetal dentro de un morichal .....	15
Imagen 8 Indicador gráfico de las variaciones de las áreas y los índices .....	28
Imagen 9 Indicador gráfico de las variaciones de las alturas de las palmas de moriche .....	31

## Índice de tablas

Tabla 1 Productos Raster .....	25
Tabla 2 Productos Vectoriales .....	26
Tabla 3 Características e Índices Ecosistémicos de los Morichales: Un análisis comparativo .....	26
Tabla 4 Estadísticos de alturas de las palmas de moriches .....	29

## 1 INTRODUCCIÓN

Los morichales, oasis de biodiversidad en la vasta Orinoquía colombiana, constituyen ecosistemas de humedales caracterizados por la dominancia de las palmas de moriche (*Mauritia flexuosa*), especies emblemáticas que no solo estructuran la fisonomía del paisaje, sino que también sustentan una rica diversidad de vida. Estos sistemas, intercalados entre sabanas y bosques, son cruciales para la conservación del agua, la biodiversidad y las culturas locales que de ellos dependen.

El objetivo de este estudio es profundizar en el conocimiento de estos sistemas vitales mediante el monitoreo temporal, utilizando fuentes primarias de estudios de biodiversidad. A través de la observación directa y la recopilación de datos, se busca comprender las dinámicas internas de los morichales, su evolución y cómo estos factores influyen en la conservación y el desarrollo sostenible de la región.

Para lograr este fin, se han empleado herramientas tecnológicas de vanguardia, incluyendo el uso del dron Phantom 4 para la captura de imágenes aéreas de alta resolución, y software especializado como Agisoft para el procesamiento fotogramétrico y QGIS para el análisis SIG. Estas herramientas han permitido la creación de modelos digitales de terreno y la generación de datos precisos sobre la configuración espacial de los morichales.

La metodología adoptada para este estudio implicó una cuidadosa selección de diez morichales a mapear, basada en criterios que incluyen la representatividad ecológica y la accesibilidad. El proceso fotogramétrico seguido de análisis SIG ha facilitado la cuantificación de palmas y la estimación de sus alturas, además de la generación de métricas clave para el monitoreo a largo plazo, como áreas de morichal, índices de sucesión vegetal y áreas sin cobertura vegetal arbórea.

Los resultados de este estudio, centrados en los morichales del M1 al M10, revelan una notable diversidad entre los sistemas examinados, reflejando diferentes estados de conservación, grados de intervención humana y dinámicas de crecimiento. Desde morichales en expansión hasta aquellos en avanzadas etapas de sucesión vegetal, el estudio subraya la complejidad de estos sistemas y enfatiza la necesidad de enfoques de manejo adaptativos y sostenibles para su conservación.

## 2 MATERIALES

En esta sección, detallamos las herramientas y tecnologías clave empleadas para el monitoreo de los morichales. Nuestra metodología se apoya en un conjunto de equipos y software especializados, diseñados para recopilar y analizar datos con precisión y eficacia. Entre los recursos utilizados, destacamos el uso del dron Phantom 4 Pro, un equipo avanzado para realizar vuelos fotogramétricos que nos permiten obtener imágenes aéreas de alta resolución. Para el procesamiento de estas imágenes, recurrimos a Agisoft Metashape versión 1.7.0, un software de fotogrametría líder en el sector, que facilita la reconstrucción de modelos digitales del terreno y la vegetación.

Además, implementamos herramientas GIS para el desarrollo de productos cartográficos que permiten una representación detallada del ecosistema. Esto incluye la creación de puntos para la enumeración de las palmas de moriche y polígonos para la cuantificación precisa de las áreas afectadas. El software SAGA se utilizó para realizar procesos de geoestadística, mientras que GeoDa fue la herramienta seleccionada para un caso específico donde la orto imagen fue afectada por la luminosidad y las sombras de nube, afectando la modelación digital de terreno. Esta variedad de herramientas nos equipa para llevar a cabo un monitoreo exhaustivo y generar información valiosa para la conservación de los morichales.

### 2.1 Phantom 4 Pro

Un Drone Phantom 4 Pro es un modelo de aeronave no tripulada fabricada por la empresa DJI. Tiene las siguientes características principales (DJI, 2022):

- Cámara con sensor de 1 pulgada y 20 megapíxeles, capaz de grabar vídeo en 4K a 60 fps y tomar fotos en ráfaga a 14 fps.
- Tiempo de vuelo máximo de 30 minutos y alcance de transmisión de 7 km.
- Sistema de detección por infrarrojos que le permite medir la distancia a los objetos cercanos y volar de forma más segura.
- Estabilizador de 3 ejes que garantiza una imagen estable y fluida en todo momento.
- Velocidad máxima de 72 km/h en modo S, 58 km/h en modo A y 50 km/h en modo P.
- Ángulo de inclinación máximo de 42° en modo S, 35° en modo A y 25° en modo P.

### 2.2 Agisoft Metashape 1.7.0

Agisoft Metashape es un software que realiza el procesamiento fotogramétrico de imágenes y genera datos espaciales 3D, permite un procesamiento muy rápido, proporcionando al mismo tiempo resultados precisos, el programa es capaz de procesar miles de fotos, este software tiene un proyecto lineal basado en flujo de trabajo intuitivo y puede ser fácilmente dominado por lo que el usuario tiene control completo sobre la precisión de los resultados, con un informe detallado que se genera al final del procesamiento (Calderón, 2021). También se pueden generar mapas de vegetación, ortofotos,

modelos digitales de elevación y otros productos cartográficos. Es una herramienta útil para diversos fines como la investigación, la conservación, el manejo, el monitoreo y la educación forestal.

### 2.3 QGIS 3.28.11

Es un software de código abierto para Sistemas de Información Geográfica (SIG) que permite visualizar, analizar y gestionar datos geoespaciales, como mapas y datos de ubicación. Ofrece una amplia gama de herramientas para trabajar con datos geográficos, incluyendo visualización, análisis espacial, edición de datos y personalización. Es gratuito, compatible con múltiples formatos de datos y ampliamente utilizado en diversas aplicaciones, desde la cartografía hasta la gestión de recursos naturales y la planificación urbana.

### 2.4 SAGA

SAGA (*System for Automated Geoscientific Analysis*) es un software de código abierto utilizado en el ámbito de los sistemas de información geográfica (SIG) y análisis geoespacial, que ofrece una amplia gama de herramientas y algoritmos para el procesamiento y análisis de datos geoespaciales en campos como relacionados con la gestión de recursos naturales y la planificación ambiental con capacidad para trabajar con datos vectoriales y raster.

### 2.5 GeoDa

GeoDa (*Geospatial Data Analysis*) es un software de código abierto que se especializa en el análisis espacial y estadísticas geográficas, facilitando la detección de patrones y relaciones espaciales en datos geográficos de tipo vectorial. Ofrece una amplia gama de herramientas para evaluar la autocorrelación espacial, crear mapas temáticos y visualizar datos geográficos, ayudando a los investigadores y profesionales a comprender la distribución geográfica de datos y tomar decisiones basadas en la información espacial.

### 3 METODOLOGÍA

A continuación, se muestra el diagrama general del procedimiento para generar información de los morichales empleando técnicas de fotogrametría y generación de elementos cartográficos a través de software GIS.

#### 3.1 Selección de los morichales a mapear

Para el estudio, se identificaron diez Morichales situados en la región septentrional del Resguardo Selva Matavén, un área caracterizada predominantemente por la presencia de sabanas y bosques riparios o de galería. A continuación, se presenta un mapa que ilustra la ubicación general de los Morichales objeto de este estudio, facilitando una comprensión visual del alcance geográfico de la investigación.

Mapa 1 Ubicación de los morichales en el Resguardo



En el mapa presentado, los rombos de color naranja señalan las ubicaciones específicas de los morichales que han sido objeto de estudio. Estos se distribuyen en cuatro sectores distintos de la región del Vichada: Bajo Vichada 1, Bajo Vichada 2, Aiva Cuna y Caño Cawasi.

La metodología de selección de los morichales se estableció en estrecha colaboración con las comunidades locales, incluyendo a sus capitanes y la guardia indígena, con el fin de incorporar una amplia gama de características distintivas identificadas por los miembros de la comunidad. Esto permitió incluir desde morichales prácticamente intactos, como el morichal 1, hasta aquellos significativamente alterados por la actividad humana de las comunidades adyacentes, específicamente los morichales 3, 4 y 9. Además, se buscó incluir morichales con alta susceptibilidad a incendios de sabana, con el objetivo de monitorear y comparar sus respuestas y adaptabilidad ante tales eventos. Este enfoque pretende no solo documentar los cambios y la resiliencia de cada morichal sino también identificar y comprender las posibles consecuencias de estas intervenciones, proporcionando evidencia clara de las causas subyacentes de cada observación.

### 3.2 Proceso fotogramétrico

El enfoque fotogramétrico adoptado en este estudio resultó ser crítico para superar las limitaciones de las imágenes satelitales en la identificación y cuantificación de los elementos biofísicos del morichal, debido a las restricciones de escala geográfica, aun cuando se dispusiera de imágenes satelitales de alta resolución. Las imágenes aéreas capturadas mediante drones ofrecieron una alternativa superior, permitiendo ajustes de escala que facilitan la identificación detallada de cada palma y la estimación de su altura. Este documento describe las fases cruciales empleadas en el software Agisoft para la elaboración de un orto-mosaico y la creación de un Modelo Digital de Superficie (MDS) a partir de fotografías aéreas obtenidas por drones. La georreferenciación del orto-mosaico se basó en el geotiquetado automático proporcionado por el GPS del dron.

- *Alineación de fotos:* Las imágenes se alinean en el menú contextual del flujo de trabajo, y se ajustan las configuraciones para dejarlas en su estado predeterminado. Este proceso da como resultado una reconstrucción del terreno de 360 grados.
- *Creación de la nube de puntos densa:* Se genera una nube densa de objetos 3D, incorporando datos de profundidad y estableciendo el sistema de coordenadas según la ubicación del terreno (en este caso, el sistema 32619 WGS 84 / UTM zona 19 N).
- *Generación de la malla:* Se crea una malla poligonal del objeto 3D, configurando la calidad y el número de escalas de polígono en un cuadro de diálogo.
- *DEM:* En la etapa final del procesamiento, se genera un modelo de elevación digital (DEM) y se captura un orto-mosaico de la escena. Para ello, se triangulan y rasterizan las nubes de puntos, empleando la triangulación de Delaunay como estrategia común (Gallo Lancheros, Cáceres Jiménez, & Porras Díaz, 2014).
- *Orto-mosaico:* Se corrigen las imágenes mediante un modelo de elevación para eliminar distorsiones relacionadas con el terreno. Cada píxel de la imagen se proyecta en el modelo de elevación para determinar un valor de elevación que se utiliza para re proyectar la imagen. Finalmente, se unen todas las imágenes corregidas para formar un mosaico con sistema de referencia WGS 84 / UTM zona 19 N.



*Imagen 1 Resolución de una imagen aérea empleando DRON*



Como se evidencia en la Imagen 1, las palmas de moriche se distinguen claramente gracias a la resolución de la imagen aérea obtenida. Este nivel de detalle facilita la generación de orto-imágenes precisas, las cuales son esenciales para cuantificar el número de palmas presentes y, además, permiten estimar la altura individual de cada palma.

### 3.2 Modelos digitales de terreno

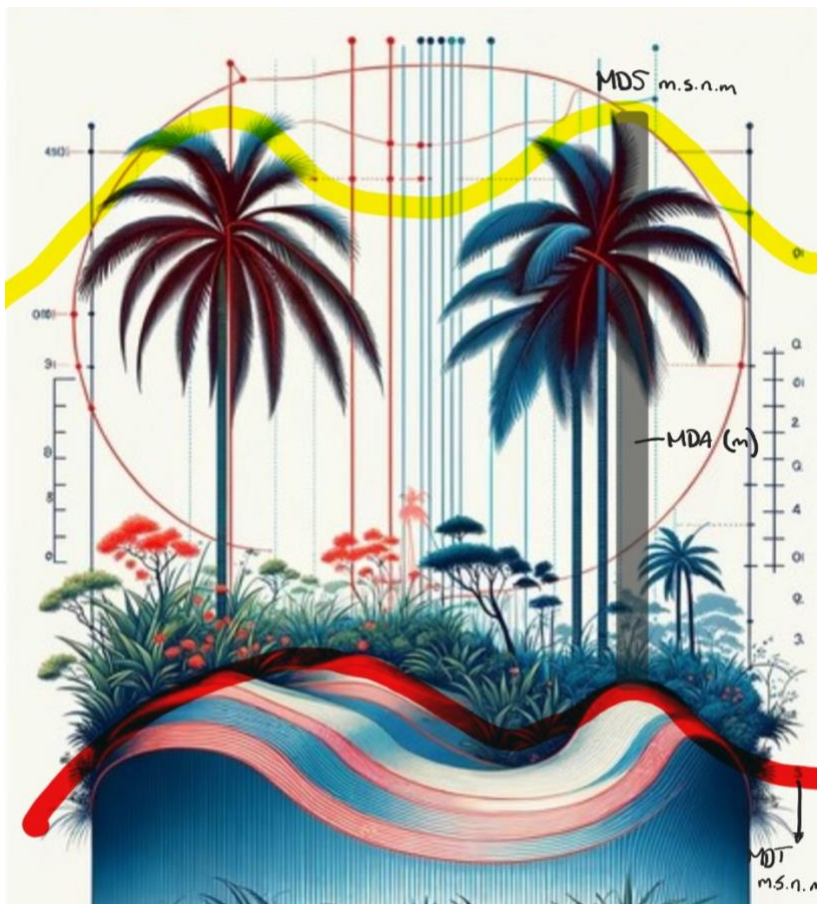
Este procedimiento adquiere una relevancia particular, ya que es mediante el análisis comparativo de los modelos digitales de terreno donde se estima la altura de cada palma de moriche. Dicha estimación se realiza calculando la diferencia entre el Modelo Digital de Terreno (MDT) y el Modelo Digital de Superficie (MDS), lo cual permite generar una capa adicional denominada Modelo Digital de Alturas (MDA).

- *Modelo Digital de Superficie (MDS)*: Este modelo refleja las elevaciones de las superficies reflectantes, incluyendo árboles, construcciones y otras estructuras sobresalientes del suelo desnudo, medido desde el nivel del mar. Como resultado del proceso fotogramétrico, se obtiene un MDS específico para cada misión de vuelo.
- *Modelo Digital de Elevación (MDE)*: Constituye una representación en forma de matriz de celdas que describe la altitud del suelo desnudo, sin incluir elementos elevados, referenciada a un

sistema vertical específico. En este estudio, se identificaron puntos sobre zonas de terreno desnudo, y mediante la utilización del software SAGA GIS, se realizó un proceso de interpolación utilizando el método de Kriging Ordinario para generar un MDE continuo.

- *Modelo Digital de Alturas (MDA)*: Centrándose en el objetivo de estimar la altura de las palmas de moriche, se calculó este modelo mediante la sustracción del MDE, que refleja las elevaciones del suelo desnudo, del MDS, que incluye tanto las elevaciones del terreno como las de las superficies y elementos elevados sobre este. El resultado ofrece una representación precisa de las alturas de elementos sobre el nivel del suelo, como son las palmas de moriche y la vegetación arbórea en cada área de estudio.

*Imagen 2 Ilustración de los modelos de terreno sobre los morichales*



La línea amarilla representa el Modelo Digital de Superficie (MDS), que refleja las alturas de todos los elementos visibles en la imagen aérea, expresadas en metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.). Por otro lado, la línea roja demuestra el Modelo Digital de Terreno (MDT), el cual se deriva de puntos del suelo identificables en la imagen aérea, los cuales, tras un proceso de interpolación, conforman el MDT, igualmente expresado en m.s.n.m. La etapa final implica la generación del Modelo Digital de Alturas (MDA), resultado de la diferencia entre el MDS y el MDT, calculada mediante álgebra de mapas en raster y expresada en metros. Este proceso culmina en la estimación precisa de la altura de las palmas, utilizando el MDA como referencia para la medición.

### 3.3 Proceso SIG para la generación de datos

En este segmento del documento, se detalla la metodología implementada para la generación de datos e información fundamental en el estudio y monitoreo de los morichales, utilizando herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Este proceso, esencial para la comprensión y monitoreo efectivo de los morichales, se desglosa en tres pasos fundamentales: Identificación de palmas de Moriche, Estimación de Alturas de cada palma y la delimitación de Áreas asociadas a este ecosistema. Cada uno de estos pasos juega un rol crucial en la obtención de datos e información detallada de cada ecosistema, permitiendo una extraer características únicas de estos sistemas. A continuación, se expone la metodología aplicada para cada uno de estos pasos.

#### 3.3.1 Cuantificación de palmas

La identificación de las palmas se realiza de forma visual a través de la inspección detallada de cada Área de Morichal. Utilizando el software QGIS, se crea una entidad de tipo punto para digitalizar la ubicación de cada palma de moriche detectada en la orto-imagen. Este proceso asegura la captura de la distribución espacial de las palmas de moriche dentro del ecosistema estudiado, facilitando así un análisis geoespacial detallado.

*Imagen 3 Ilustración de las entidades tipo punto sobre la orto-imagen*

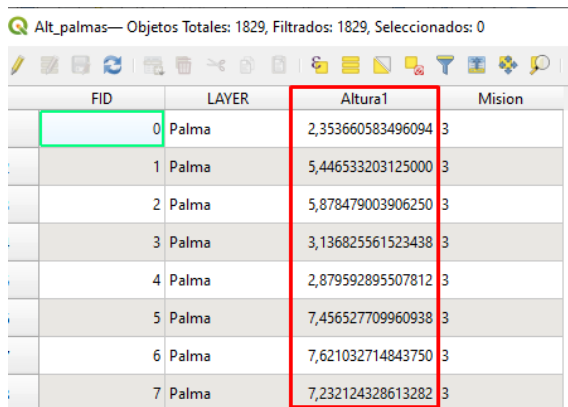


Los puntos naranjas indican como a través del Software GIS ubicamos la palma sobre la orto-imagen.

### 3.3.2 Estimación de la altura por palmas

Este proceso depende de dos elementos clave: el Modelo Digital de Alturas (MDA) y los puntos digitalizados correspondientes a cada palma. Mediante un geoproceto específico, se extrae el valor del píxel del raster del MDA asociado a la ubicación de cada punto digitalizado. Como resultado, en la capa vectorial de puntos, se añade una nueva columna que refleja la altura estimada para cada palma de moriche identificada. Este método asegura una integración precisa de datos altimétricos con la distribución espacial de las palmas, permitiendo una evaluación detallada de su estructura vertical dentro de las métricas a monitorear en este ecosistema (Ver imagen 2).

Imagen 4 Altura en la tabla de atributos de las palmas



FID	LAYER	Altura1	Mision
0	Palma	2,353,660.583496094	3
1	Palma	5,446,533.203125000	3
2	Palma	5,878,479.003906250	3
3	Palma	3,136,825.561523438	3
4	Palma	2,879,592.895507812	3
5	Palma	7,456,527.709960938	3
6	Palma	7,621,032.714843750	3
7	Palma	7,232,124.328613282	3

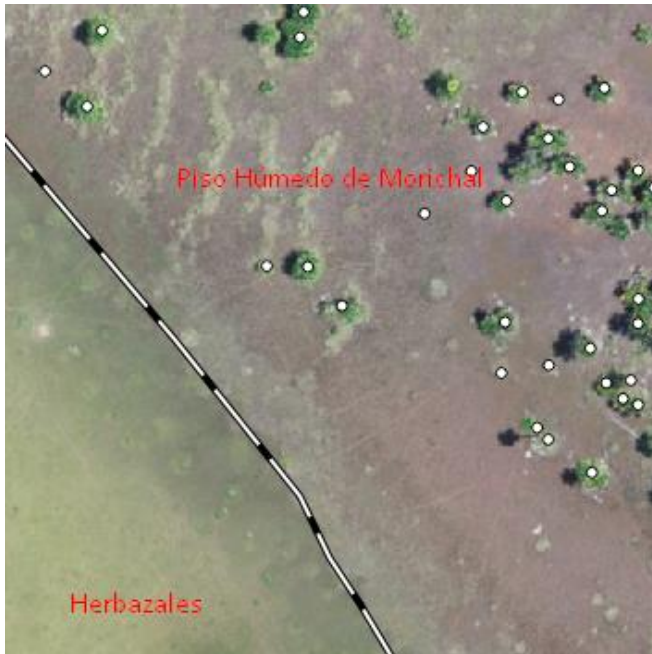
Tras la generación del Modelo Digital de Alturas (MDA), se procede a extraer el valor correspondiente a cada punto localizado sobre el mismo. Este paso permite la creación de un nuevo campo en la base de datos, que registra la altura de cada palma individualmente. Este dato se convierte en una métrica esencial, proporcionando una base cuantitativa para el monitoreo temporal de las variaciones en la estructura y dinámica de cada morichal.

### 3.3.3 Generación de áreas

La generación de áreas implica la delimitación precisa de distintas zonas identificables dentro del ecosistema de morichal, basada en características físicas y ecológicas discernibles. A continuación, se detallan las cuatro áreas principales identificadas para monitoreo a lo largo del tiempo:

**Área de Morichal:** Esta zona representa la delimitación geográfica completa del ecosistema de morichal, diferenciada por un cambio notable desde el herbazal típico de las sabanas hacia suelos más húmedos, con un alto nivel freático y una textura blanda. Este límite se identifica mediante la interpretación de orto-imágenes capturadas por drones, como se muestra en la Imagen 5.

*Imagen 5 Diferencias entre el piso de un herbazal y el de un ecosistema de morichal*



**Área de Sucesión Vegetal:** Identificada a través del análisis de imágenes aéreas, esta área destaca por un proceso de sucesión vegetal en los morichales más extensos, que promueve el establecimiento de especies vegetales acompañantes y la formación de nuevos bosques riparios. La delimitación de esta área permite un seguimiento detallado de la dinámica ecológica a lo largo del tiempo, evaluando cambios en la expansión, estancamiento o reducción de estas zonas sucesionales, como se evidencia en la Imagen 6.

**Área de Copa:** Corresponde a la superficie total ocupada por las copas de las palmas de moriche dentro del Área de Morichal. Este indicador se obtiene mediante la reclasificación de píxeles verdes con elevaciones superiores a un metro, utilizando el Modelo Digital de Alturas (MDA). Tras vectorizar estos datos, se calcula el área total, excluyendo el Área de Sucesión Vegetal, para monitorear la salud y expansión de las copas de las palmas.

*Imagen 6 Sucesión vegetal dentro de un morichal*



La línea roja demarca un área de sucesión vegetal dentro de un morichal.

**Área sin cobertura vegetal arbórea:** Esta área se define como el Área de Morichal excluyendo el Área de Sucesión Vegetal, enfocándose en las zonas que no presentan cobertura forestal densa.

Cada una de estas áreas se ha delimitado con el propósito de facilitar el monitoreo sistemático y la evaluación del estado y los cambios dentro del ecosistema de morichal. Este enfoque ofrece una descripción comprensiva y estructurada de las áreas delimitadas para el monitoreo, clarificando la metodología y los objetivos de su identificación y seguimiento.

*Imagen 7 Sucesión vegetal dentro de un morichal*



Los polígonos verdes remarcados con los cuadros rojos exponen el área denominada como foliar de las palmas de moriche.

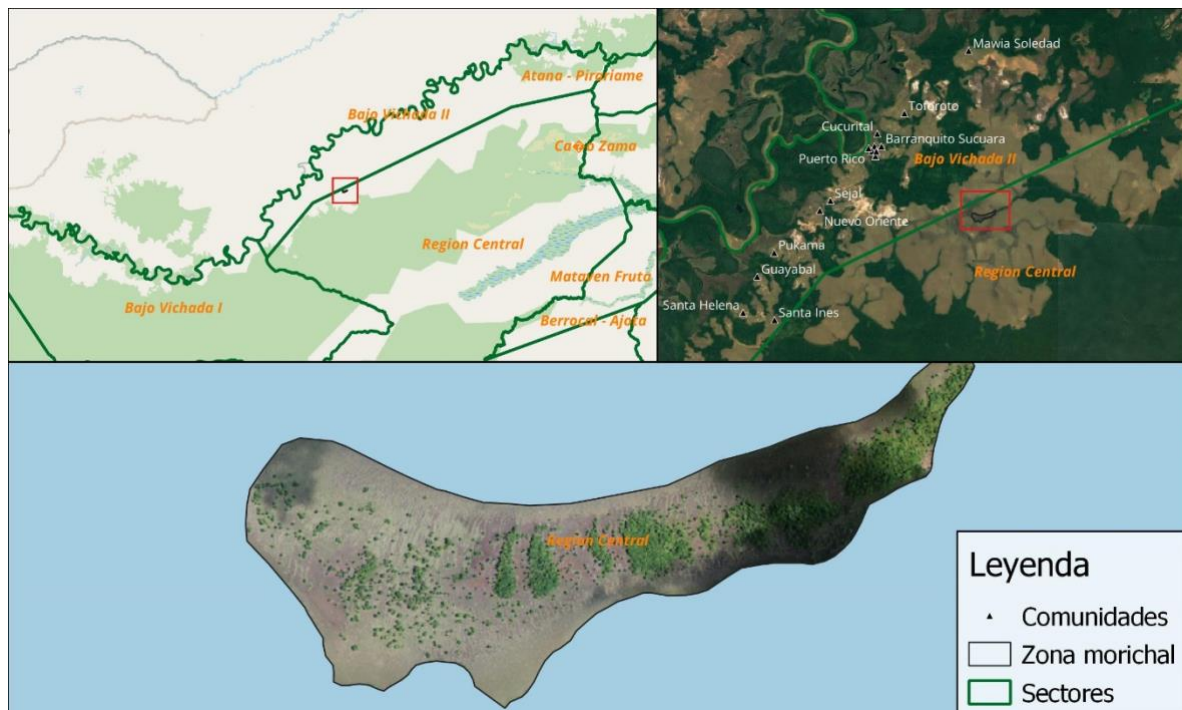
## 4. RESULTADOS

En esta sección, se presentan los resultados y productos derivados de la implementación de la metodología descrita anteriormente, incluyendo una descripción individual de cada morichal estudiado. El propósito aquí es exhibir los distintos productos geospaciales, cartográficos y numéricos obtenidos, así como su presentación mediante gráficos estadísticos y mapas. Además, se proporcionará una evaluación detallada de cada morichal, destacando sus características únicas y condiciones actuales. Este enfoque tiene como objetivo no solo ilustrar los hallazgos clave de nuestro estudio y detallar las métricas específicas que serán utilizadas para el monitoreo continuo de estos sistemas o paisajes, sino también ofrecer una comprensión profunda de la diversidad y particularidades de cada morichal dentro del contexto general de conservación y estudio de los morichales. A través de esta exposición comprensiva, buscamos proporcionar una base sólida para futuras investigaciones y estrategias de gestión dirigidas a la preservación de estos valiosos sistemas vitales.

### 4.1 Presentación de los morichales

#### Morichal 1 – M1-Muva

Mapa 2 Morichal 1





Situado en el núcleo sur del sector Bajo Vichada 2, cercano a las comunidades de Cucurital, Puerto Rico y Barranquito Sucuara, se encuentra un morichal distintivo por constituir el límite final de otro bosque ripario en expansión. Este morichal se halla en una fase de crecimiento activo, destacándose por ser uno de los menos afectados por la intervención humana dentro de la región estudiada. Notablemente, en sus proximidades no se han documentado incendios, lo que subraya su condición de baja incidencia de perturbaciones antropogénicas. Este contexto sugiere un entorno favorable para la conservación y un buen ecosistema para monitorear y ver las dinámicas en el tiempo.

### Morichal 2 – M2-La Loma

Ubicado en el corazón meridional del sector Bajo Vichada 2 y en las inmediaciones de las comunidades de Tofofoto, Cucurital, Puerto Rico, y Barranquito Sucuara, se destaca un morichal que define el confín de un bosque ripario en proceso de culminación de su expansión, un escenario donde las palmas de moriche parecen escasear. Este morichal, en plena etapa de maduración, podría estar experimentando una significativa influencia humana debido a su cercanía con asentamientos humanos (distancias que varían entre 500 y 2000 metros), lo que sugiere un equilibrio delicado entre la conservación natural y el impacto antropogénico. La situación de este morichal, particularmente por su proximidad a un río y la maduración del bosque ripario adyacente, promete ser de gran interés en futuros monitoreos, ofreciendo una ventana única al estudio de las dinámicas entre la intervención humana, los procesos ecológicos naturales y la evolución a bosques de galería.

Mapa 3 Morichal 2



### Morichal 3 – M3-La Loma

Situado en el sector Bajo Vichada II, con la comunidad de Urba Morichal como su vecino más próximo, este ecosistema parece haber encontrado su nicho en una laguna, donde las condiciones particulares de humedad y la riqueza de materia orgánica en el suelo han favorecido su surgimiento y desarrollo. La presencia aún limitada de un área de sucesión vegetal de especies acompañantes sugiere que estamos ante un morichal en pleno desarrollo. Este contexto proporciona una oportunidad única para monitorear la dinámica de crecimiento de un morichal, ofreciendo valiosas perspectivas sobre los factores ambientales y ecológicos que impulsan la formación y expansión de estos sistemas tan especiales.

Mapa 4 Morichal 3

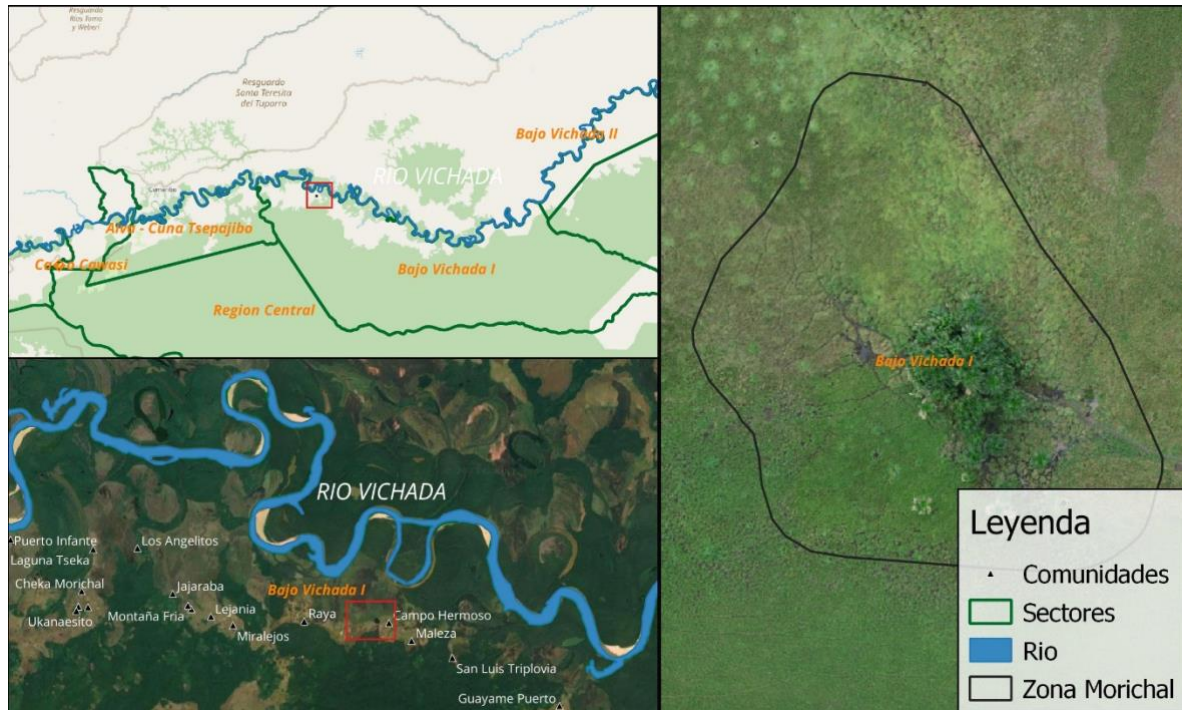


### Morichal 4 – M4-Raya

Este morichal, el más reducido de los seleccionados para el estudio, se sostiene sobre una fuente acuífera emergente de la sabana, situado en el sector Bajo Vichada I, enmarcado entre las comunidades de Raya y Campo Hermoso. Su posición geográfica, junto a un alto tránsito y proximidad a otras comunidades, sugiere una intensa intervención humana y lo cataloga como altamente susceptible a incendios en las sabanas circundantes. La singularidad de este morichal radica en su diminuto tamaño, planteando interrogantes sobre su potencial de persistencia o desaparición en el futuro. Adicionalmente, resulta notable la ausencia de especies acompañantes, un aspecto que lo

distingue dentro del estudio y subraya la importancia de monitorear su evolución y las dinámicas ecológicas que lo rodean, proporcionando una perspectiva valiosa sobre la resistencia y adaptabilidad de estos sistemas frente a las presiones ambientales y antrópicas.

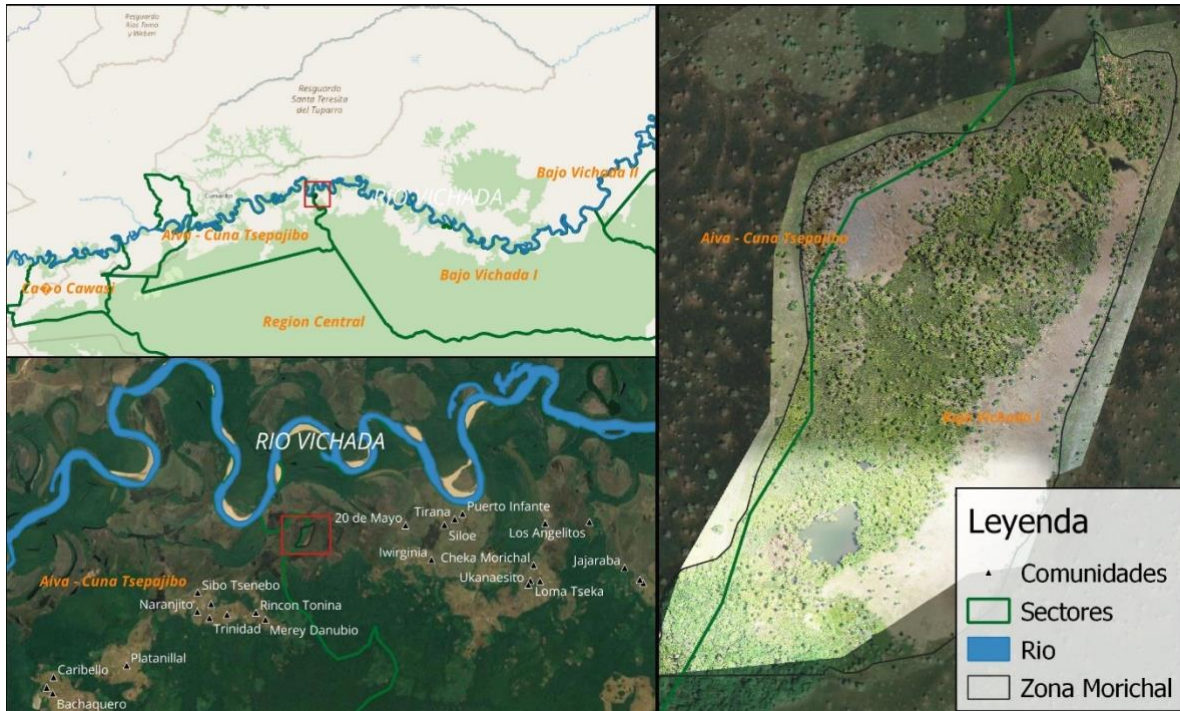
Mapa 5 Morichal 4



### Morichal 5 – M5

Este morichal se sitúa en la frontera entre dos sectores, Bajo Vichada I y Aiva-Cuna Tsepajibo, y próximo al río Vichada, marcando una interesante ubicación geográfica. A diferencia de otros morichales, este particularmente no experimenta un alto tránsito, y las comunidades cercanas no parecen frecuentarlo con asiduidad. Sin embargo, esto no exime su potencial vulnerabilidad a incendios de sabana. La observación detallada revela que el morichal se mantiene en un estado de conservación favorable, situándose además en el vértice con un bosque ripario, aspecto que se ha observado en estos sistemas.

*Mapa 6 Morichal 5*



### Morichal 6 – M6

Situado en la zona central del sector Aiva-Cuna Tsepajibo y próximo a la comunidad de Arenal, este morichal emerge en un punto estratégico, en el vértice donde un bosque de galería converge con los terrenos de una laguna, y se halla notablemente cerca del río Vichada. La configuración del terreno y su proximidad a cuerpos de agua sugieren condiciones ecológicas óptimas para el desarrollo de este ecosistema. Se destaca la dinámica de sucesión vegetal, que parece avanzar desde el bosque preexistente en dirección a las lagunas, evidenciando un proceso ecológico activo y en constante transformación. Este patrón de sucesión subraya la interacción entre diferentes hábitats y su influencia recíproca en la configuración y expansión del morichal. La ubicación y las características particulares de este ecosistema lo convierten en un objeto de estudio valioso para entender las dinámicas de sucesión vegetal y la relación entre morichales, bosques de galería, lagunas y ríos en contextos de biodiversidad tropical.

Mapa 7 Morichal 6



### Morichal 7 – M7 – Cumaribo

Situado en la periferia del Resguardo, este morichal, aunque no se encuentra estrictamente dentro de los límites jurídicos, está inmerso en las proximidades de comunidades pertenecientes al Resguardo, entre ellas Kuna, Mirador Kulaya, San Enrique y Cumariana. Se distingue por ser el morichal con las palmas de mayor envergadura y el más elevado índice de sucesión vegetal o bosque asociado, lo que denota su avanzado estado de madurez. Según se aprecia en el mapa, este ecosistema se posiciona en la confluencia de dos corredores de bosque de galería, revelando que ha alcanzado una notable conectividad forestal atravesando la sabana. No obstante, un aspecto crucial es su alto grado de intervención por parte de las comunidades adyacentes, incluyendo zonas de deforestación, lo cual plantea interrogantes sobre su resiliencia y la capacidad de recuperación frente a las alteraciones antrópicas. La observación continua de este morichal ofrecerá información valiosa sobre la interacción humana con sistemas maduros y su impacto en la biodiversidad y la conectividad ecológica.

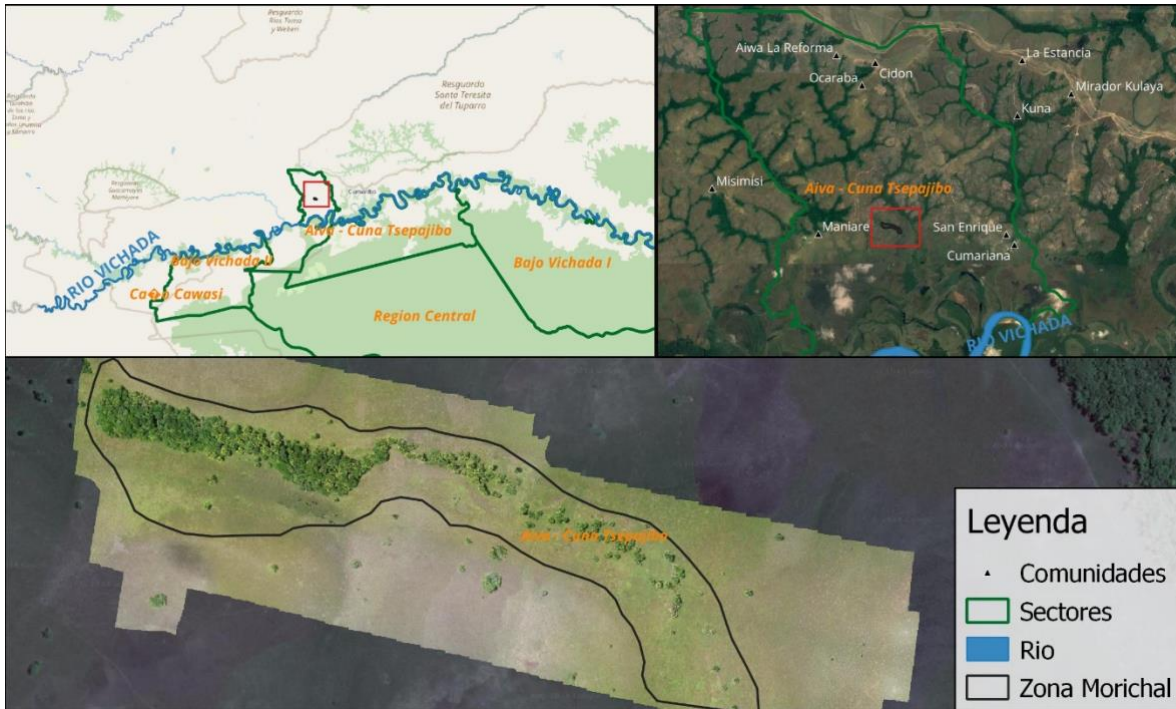
*Mapa 8 Morichal 7*



### **Morichal 8 – M8 – Cumariana**

Este morichal se distingue no por ser el desenlace de un bosque de galería, sino más bien por ser un ecosistema en plena fase de desarrollo, emergiendo sorpresivamente en el corazón de la sabana, aunque circundado por bosques de galería. En su extremo norte, o zona alta, se manifiesta ya una zona de sucesión vegetal caracterizada por la presencia de especies arbóreas de considerable altura, mientras que su extremo sur, o parte baja, sugiere ser el frente de avance del morichal. Una característica notable es su condición de área de alto tránsito humano, situada en las cercanías de diversas comunidades. Esta interacción con el entorno humano le confiere al morichal una dinámica especial, donde el equilibrio entre la expansión natural y la influencia antropogénica define su estructura y evolución. La observación de este ecosistema ofrece una oportunidad única para estudiar las interacciones entre morichales en crecimiento y la actividad humana, así como para entender los procesos de sucesión vegetal que contribuyen a la configuración de estos paisajes.

*Mapa 9 Morichal 8*



### Morichal 9 – M9 – Cumariana

Este morichal se distingue por una marcada intervención humana, situándose en inmediata vecindad con al menos tres comunidades y actuando como un corredor directo hacia el río Vichada. Dicha proximidad le confiere un interés particular, ya que ofrece una oportunidad única para analizar el ecosistema en un estado de madurez y entender cómo interactúa con las comunidades circundantes. La evaluación de este morichal permitirá discernir su capacidad de resiliencia frente a las influencias antropogénicas, ofreciendo valiosas lecciones sobre la coexistencia entre morichales y asentamientos humanos.

*Mapa 10 Morichal 9*

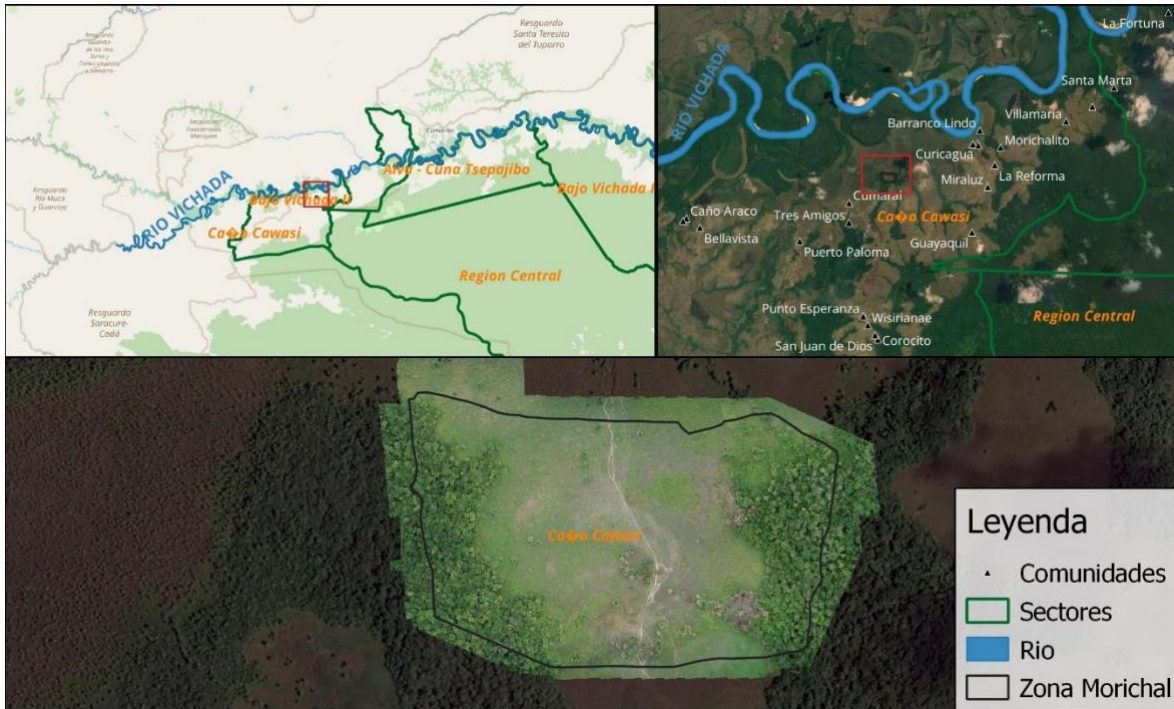


### **Morichal 10 – M10 – Cawasi-Cumalar**

Este morichal se caracteriza por ubicarse en los confines de un bosque de galería, lo que lo convierte en un punto focal para estudiar y analizar la interacción entre ambos tipos de sistemas. La hipótesis de que este espacio fue antiguamente dominado exclusivamente por palmas de moriche, evolucionando gradualmente hacia la inclusión de un bosque de galería, plantea una dinámica ecológica fascinante. Lo notable de este morichal es su función como zona de tránsito humano, añadiendo una capa adicional de complejidad al observar cómo se desarrollan estas interacciones. El interés radica en determinar si el ecosistema de palmas de moriche será eventualmente absorbido por el avance del bosque o si, por el contrario, logrará sostener su expansión. Esta situación presenta una oportunidad invaluable para comprender los procesos de sucesión ecológica y la influencia de las actividades humanas en la configuración y futuro de estos paisajes naturales.



*Mapa 11 Morichal 10*



## 4.2 Productos Geoespaciales

A continuación, se exhiben los diversos productos geoespaciales resultantes de los procesos y la aplicación de la metodología descrita. Entre estos, se incluyen tanto los productos en formato raster como los productos vectoriales, que juntos constituyen la base cartográfica del estudio. Además de presentar estos productos, detallaremos las características técnicas de los archivos digitales correspondientes, tales como el sistema de proyección utilizado, el tamaño de píxel, entre otras especificaciones relevantes. Estas características son fundamentales para comprender la precisión, la escala y el contexto geoespacial en el que se inscriben los datos, facilitando así un análisis detallado y riguroso del ecosistema de morichal.

*Tabla 1 Productos Raster*

Producto	Cantidad	Resolución Espacial
Orto-imágenes	10	3 a 5 cm / Pixel
MDS	10	10 cm / Pixel
MDT	10	10 cm / Pixel
MDA	10	10 cm / Pixel

Tabla 2 Productos Vectoriales

Producto	Entidad cartográfica
Área de Morichal	Polígono
Área de Sucesión vegetal	Polígono
Área de copa	Polígono
Palmas	Punto
Área sin cobertura vegetal Arborea	Polígono

### 4.3 Métricas y comparación entre morichales

La presente tabla ofrece un análisis exhaustivo de diversas métricas ecológicas y demográficas relacionadas con diez morichales específicos, identificados de M1 a M10. En ella, se detallan aspectos clave como el Área de Morichal, el Área de Sucesión Vegetal, el Área de Copa, y el Área sin Cobertura Vegetal Arborea, además de proporcionar cifras sobre el Número de Palmas presentes en cada ecosistema. Asimismo, se incluyen indicadores críticos como el Índice de Áreas de Copas de Palmas, el Índice de Sucesión Vegetal, y el Indicador del Número de Palmas por Hectárea, los cuales ofrecen una visión profunda sobre la estructura, la biodiversidad y el estado de conservación o intervención de estos sistemas. Este compendio de datos no solo ilustra la diversidad inherente a cada morichal sino que también subraya las dinámicas de sucesión vegetal y la interacción entre las palmas de moriche y otros componentes vegetales. Posteriormente, se describe cada una de las métricas en términos de Áreas e Índices.

Tabla 3 Características e Índices Ecosistémicos de los Morichales: Un análisis comparativo

Métricas/ID Morichales	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
Área de Morichal (ha)	29,1	10,4	7,3	0,4	18,1	15,7	8,4	7,3	6,4	13,4
Área de Sucesión Vegetal	4	5	1	0	1	6	5	1	1	4
Área de Copa (ha)	3,5	0,7	1,7	0,0	4,2	1,4	0,2	0,4	0,3	0,9
Área sin cobertura vegetal arborea (ha)	25,4	5,0	6,8	0,4	16,8	9,5	3,5	6,3	5,1	9,8
Número de palmas	1040	154	1830	67	2880	937	227	199	115	385
Índice de áreas de copas de palmas	0,2	0,5	0,3	0,1	0,3	0,5	0,6	0,2	0,3	0,3
Índice de sucesión Vegetal	0,13	0,44	0,07	0,00	0,07	0,39	0,27	0,14	0,20	0,27
Indicador número de palmas /ha	36	15	251	149	159	60	27	27	18	29

Fuente: Elaboración propia

**Área de Morichal:** La extensión de los morichales estudiados muestra una notable variabilidad, con el área más pequeña registrada en M4 (0,4 ha) y las más grandes en M5 (18,1 ha) y M1 (29 ha). Esta diversidad en tamaño sugiere que los morichales se encuentran en distintas etapas de desarrollo y

enfrentan diferentes grados de afectación. Esta hipótesis se ve respaldada por los indicadores analizados, que reflejan variaciones en la estructura y composición ecológica de cada morichal.

**Área de Sucesión Vegetal:** Los valores más altos observados en M1, M2, M6, M7 y M10 (mayores a 4 ha) indican procesos activos de sucesión vegetal, lo que podría estar contribuyendo a la formación de nuevos bosques riparios. Esta dinámica es crucial para la diversificación biológica y la resiliencia ecológica de los morichales. En contraste, la ausencia o menor presencia de sucesión vegetal en otros morichales puede indicar afectaciones ambientales o, alternativamente, etapas tempranas de desarrollo.

**Área de Copa:** Con valores que varían de 0,0 ha en M4 a 4,2 ha en M5, esta métrica es esencial para evaluar la salud general y la densidad de las copas de las palmas de moriche. Estos datos permiten una mejor comprensión de la estructura del ecosistema y de las condiciones de vida de las especies asociadas.

**Área sin Cobertura Vegetal Arbórea:** Esta métrica revela la proporción del morichal sin cobertura forestal densa, variando significativamente entre los sitios estudiados. Las diferencias observadas sugieren variabilidad en la composición y estructura del hábitat, lo cual tiene implicaciones directas en la biodiversidad y en la disponibilidad de recursos dentro de los morichales.

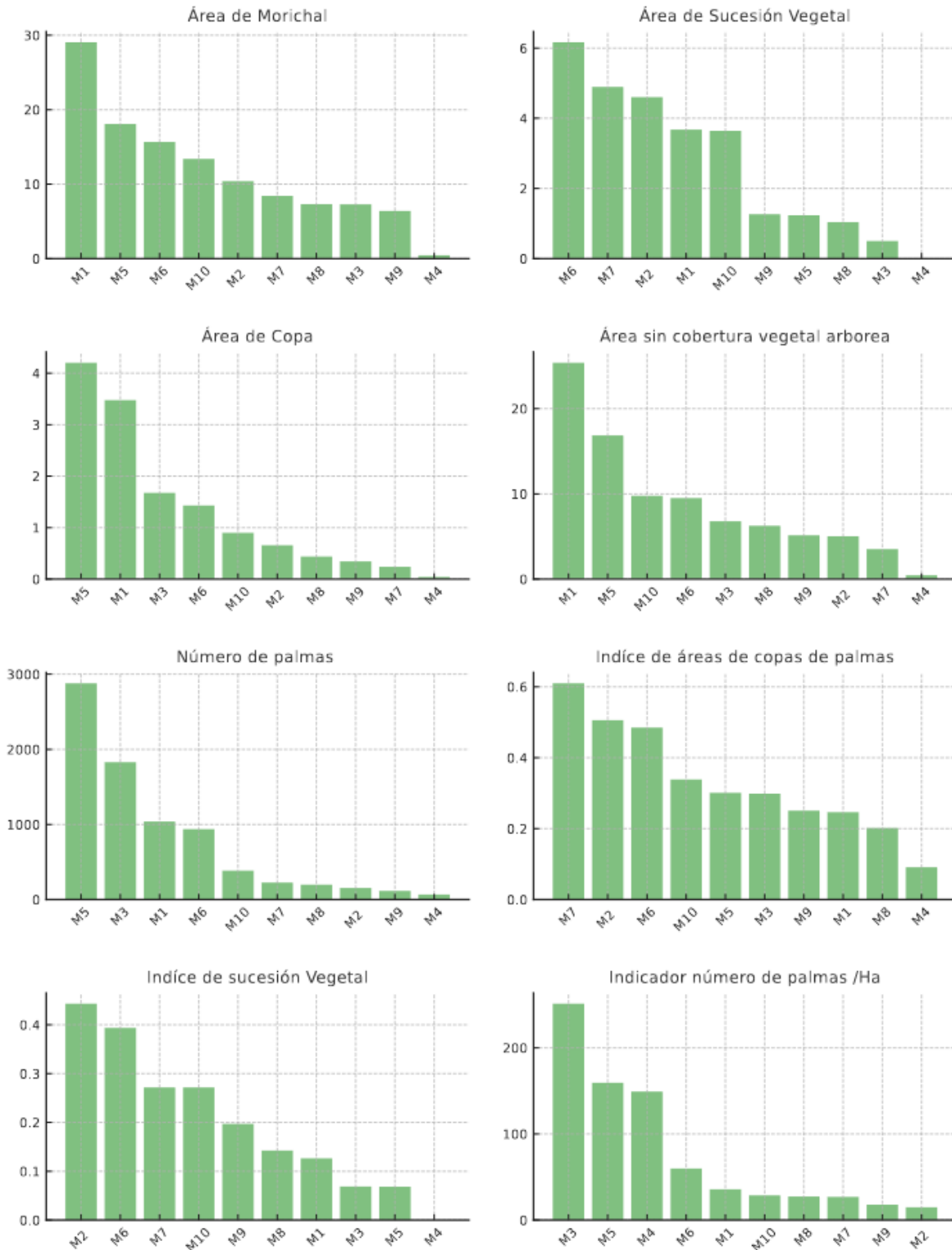
### Análisis de Índices e Indicadores

**Índice de Áreas de Copas de Palmas:** La variabilidad en este índice sugiere diferencias en la cobertura del dosel entre los morichales. Un índice más alto es indicativo de una mayor cobertura de copa, proporcionando un indicador clave sobre la salud de las palmas.

**Índice de Sucesión Vegetal:** Este índice permite evaluar el grado de sucesión vegetal y la formación potencial de bosques riparios, ofreciendo una base para comparaciones entre los diferentes morichales.

**Indicador Número de Palmas /Ha:** La densidad de palmas por hectárea varía considerablemente, resaltando diferencias significativas en la distribución y abundancia de las palmas dentro de los morichales. Esta métrica es fundamental para comprender las dinámicas ecológicas específicas de los morichales.

*Imagen 8* Indicador gráfico de las variaciones de las áreas y los índices



#### 4.4 Análisis de altura de las palmas de moriche

La Tabla 4 proporciona un análisis exhaustivo de las alturas de las palmas de moriche distribuidas a través de diez morichales seleccionados para el estudio. Esta tabla sintetiza los datos estadísticos clave, incluyendo la media, mediana, varianza, desviación estándar, coeficiente de variación, y los valores mínimo y máximo de las alturas registradas. A continuación, se encontrará en la tabla una comparación detallada que refleja no solo la diversidad en la estructura vertical de los morichales sino también la variabilidad intrínseca dentro de cada ubicación estudiada. Al presentar estos indicadores, la tabla ofrece una base cuantitativa sólida para comprender las dinámicas de crecimiento y las características ecológicas de las palmas de moriche, fundamentales para el análisis posterior de las condiciones y procesos ecosistémicos que influyen en estos sistemas únicos. Este enfoque metodológico permite una evaluación rigurosa y comparativa de las alturas de las palmas, proporcionando hallazgos valiosos para investigaciones futuras, estrategias de conservación y monitoreo en el tiempo.

Tabla 4 Estadísticos de alturas (en metros) de las palmas de moriche

ID Morichales/ Estadísticos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Media</b>	8,1	4,1	5,3	7,1	5,3	5,2	13	6,3	5,4	7,9
<b>Mediana</b>	8,2	4,3	5,2	7	5,1	5,2	13,5	6,3	5	7,8
<b>Varianza</b>	18,0	1,26	5,8	5,7	5,4	3,6	25,1	4,3	5,4	9,4
<b>Desviación estándar</b>	4,2	1,1	2,4	2,4	2,3	1,8	5	2,	2,3	3
<b>Coeficiente de variación</b>	51,8	27,6	45,6	33,9	43,8	36,2	38,6	32,7	42,8	38,7
<b>Valor Mínimo</b>	1	0,7	1,0	2,6	1	1	1,1	1	1	1,5
<b>Valor Máximo</b>	20,8	6,7	14,3	11,7	16,6	13,3	23,9	14,4	10,4	18,9

Fuente: Elaboración propia

Tras examinar la Tabla 4, nos adentramos en el análisis detallado de las alturas de las palmas de moriche en los diez morichales estudiados. Este segmento del documento se dedica a explorar las complejidades y variaciones observadas en las métricas presentadas anteriormente. Al sumergirnos en este análisis, revelaremos las perspectivas y tendencias en altura que caracterizan a cada morichal, destacando las diferencias significativas en sus condiciones de crecimiento, estructuras de población y dinámicas ecológicas combinando el análisis con las métricas e indicadores de la tabla 3 e imagen 8. Este enfoque nos permitirá comprender mejor los factores que contribuyen a la diversidad de estos sistemas, ofreciendo a su vez fundamentos sólidos para la toma de decisiones en la conservación y el monitoreo.

**Morichal 1**, se distingue por su significativa variabilidad en la altura de las palmas, reflejada en un coeficiente de variación del 51,8%, el más alto entre los estudiados. Con una extensión de 29 hectáreas, este morichal no solo es el más grande, sino que también presenta una notable área de

sucesión vegetal, lo que indica un ecosistema en expansión tanto en términos de área como de número de palmas. Sin embargo, la baja proporción de palmas por hectárea sugiere un potencial de crecimiento en la altura de las palmas existentes.

**Morichal 2**, por otro lado, este morichal se distingue por una notable homogeneidad y estabilidad, registrando la media de altura más baja de la muestra con 4,1 metros, así como el coeficiente de variación más reducido, situándose en 27,6%. Dicho morichal, ya en una fase avanzada de madurez, se caracteriza por su elevado índice de sucesión vegetal junto al menor recuento de palmas por hectárea, sugiriendo una transición casi completa hacia un bosque de galería. Esta evolución es una dinámica que observaciones futuras podrían verificar, marcando un punto de interés para el seguimiento a largo plazo y el estudio de los procesos de sucesión ecológica en estos sistemas.

**Morichal 3**, se caracteriza por una altura promedio moderada de 5,3 metros, acompañada de una notable variabilidad. Este aspecto, unido a la presencia de una de las menores áreas de sucesión vegetal observadas, contrasta con su elevada densidad de palmas. Este fenómeno indica que las condiciones del suelo son óptimas para el florecimiento y proliferación de nuevas palmas, insinuando un ecosistema vibrante y en expansión. A pesar de esta aparente vitalidad, el morichal aún no ha alcanzado el umbral ecológico necesario para desencadenar un proceso de sucesión vegetal que culmine en la formación de un bosque de galería, lo que sugiere que se encuentra en una fase dinámica de crecimiento y transformación. Esta etapa de desarrollo promete ser un foco de interés para monitorear la transición hacia bosque.

**Morichal 4**, resalta por su tamaño reducido y ausencia de sucesión vegetal, junto con una alta proporción de palmas por hectárea, lo que podría indicar una intensa intervención humana y un crecimiento estancado.

**Morichal 5**, se asemeja al Morichal 3 en términos de media de altura, extensión y características de crecimiento, con la mayor cantidad de palmas y una significativa proporción por hectárea, reflejando condiciones de crecimiento dinámicas y comparables.

**Morichal 6**, presenta un equilibrio entre altura media y variabilidad, siendo notable por su extensa área de sucesión vegetal, lo que sugiere un estado de madurez avanzada, a pesar de una menor densidad de palmas por hectárea.

**Morichal 7**, sobresale por las condiciones óptimas de crecimiento, registrando la mayor media de altura (13 metros) y la mayor variabilidad. Este morichal, con altas palmas y un índice de sucesión vegetal relevante, indica un avanzado grado de madurez ecosistémica.

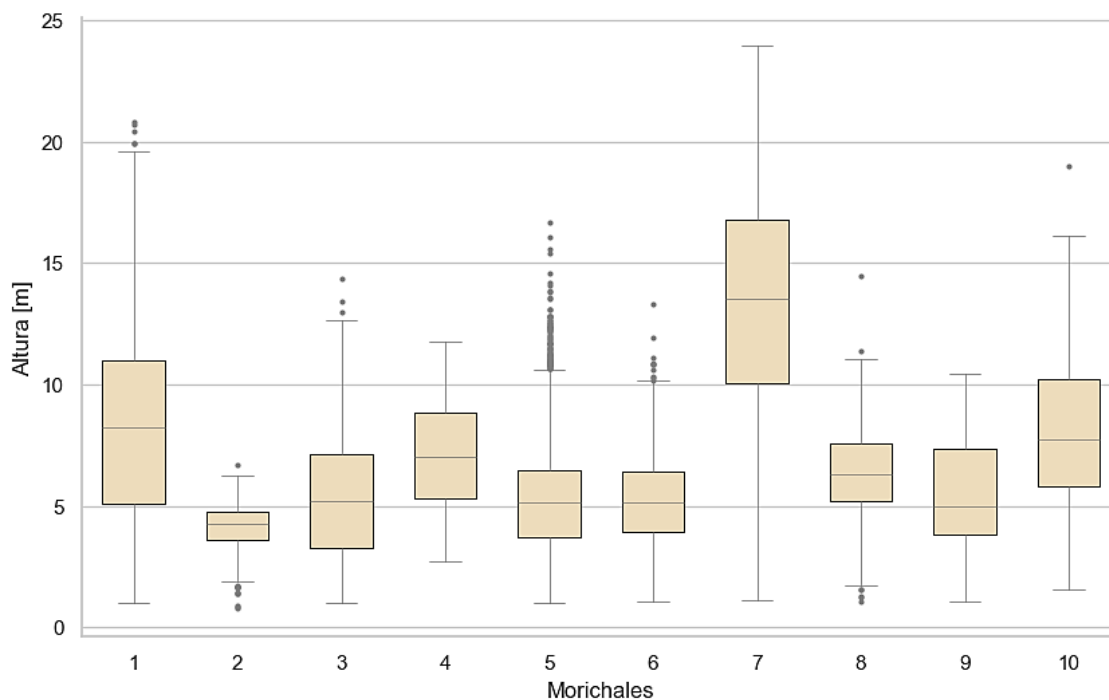
**Morichal 8**, se perfila como un ecosistema en fase de crecimiento, marcado por una notable accesibilidad y una significativa intervención humana, aspectos que se infieren de su estratégica ubicación geográfica. Las observaciones indican que las palmas presentes no alcanzan alturas considerables y que existe una limitada variabilidad en este aspecto, al igual que en otras métricas evaluadas, las cuales registran valores bajos. Esta configuración sugiere que el morichal se encuentra en un periodo activo de desarrollo y expansión, no solo en lo que respecta a las palmas de moriche sino también a las especies vegetales acompañantes. Tal dinámica subraya la importancia de

monitorear continuamente este morichal para comprender mejor los patrones de crecimiento y las interacciones entre las diferentes formas de vida que lo habitan, así como los efectos de la actividad humana en su evolución.

**Morichal 9**, El Morichal 9 resalta por cómo la accesibilidad y la intervención humana han moldeado su estructura ecológica, reflejado en indicadores bajos en la mayoría de las métricas evaluadas, con la excepción notable de su índice de sucesión vegetal. Esta particularidad sugiere una dinámica de sucesión vegetal pero quizá más por el hecho de la disminución antropogénica de las tablas. A pesar de esto, en cuanto a la altura de las palmas, este morichal no se caracteriza por presentar especímenes particularmente altos, registrando además una limitada variabilidad en este aspecto. Esta configuración sugiere que, aunque el ecosistema está en proceso de adaptación y cambio, la diversidad en la altura de las palmas permanece relativamente homogénea.

**Morichal 10**, destaca por una de las medias de altura más elevadas, y aunque comparte condiciones de intervención con otros morichales, se distingue por un grado superior de sucesión vegetal, lo que sugiere una complejidad ecológica particular.

*Imagen 9* Indicador gráfico de las variaciones de las alturas de las palmas de moriche



## 5. CONCLUSIONES

**Importancia de las Imágenes de Alta Resolución:** Las imágenes de alta resolución son fundamentales en el estudio y monitoreo de los sistemas de morichal, permitiendo por su escala y resolución espacial la identificación precisa de características biofísicas y la generación de métricas detalladas. Este enfoque metodológico permitirá la observación de cambios a lo largo del tiempo con mayor precisión, posibilitando una comprensión profunda de las dinámicas ecológicas y la evaluación del impacto de las intervenciones humanas y los fenómenos naturales.

**Riqueza de los Morichales en el Resguardo Selva Matavén:** El Resguardo Selva Matavén alberga una notable diversidad de morichales, cada uno presentando variadas formas, estados y etapas de desarrollo. Desde morichales en pleno crecimiento hasta aquellos en avanzadas etapas de sucesión vegetal, estos sistemas reflejan la rica biodiversidad y complejidad ecológica de la región. Ejemplos destacados incluyen morichales con altas densidades de palmas, aquellos ubicados en las confluencias de bosques de galería, y otros en zonas propensas a incendios, demostrando la amplia gama de condiciones ambientales y ecológicas presentes a monitorear.

**Alturas de las Palmas como Indicador Ecosistémico:** La variabilidad en la altura de las palmas dentro de los morichales proporciona valiosos indicios sobre el estado del ecosistema. Diferencias significativas en la altura y la variabilidad de las palmas pueden reflejar distintos grados de madurez ecológica, intervención humana, y capacidad de resiliencia del morichal. Estos datos son cruciales para entender la salud general del ecosistema, su estabilidad, y las potenciales amenazas a su conservación.

**Interacción de los Morichales con las Comunidades:** Los 10 morichales estudiados muestran una variedad de interacciones con las comunidades circundantes, desde la alta intervención humana hasta la relativa preservación. La proximidad de estos morichales a asentamientos humanos influye en su dinámica ecológica, evidenciando tanto los desafíos como las oportunidades para la coexistencia armónica entre los morichales y las poblaciones locales. La gestión sostenible de estos recursos naturales es fundamental para asegurar su preservación y el bienestar de las comunidades que dependen de ellos.