



Facultad de Ciencia y Tecnología

Biología

Caracterización de la cobertura de uso de suelo de la Comunidad de Maikiuants,  
Cordillera del Cóndor

Trabajo previo a la obtención del grado académico de:

Biólogo

Autores:

Anallely Alejandra Lema Nieto

Carlos Leonardo Llanos Barbecho

Director:

Edwin Javier Zárate Hugo

Cuenca - Ecuador

Año:

2026

## **Resumen**

Esta investigación tuvo como objetivo caracterizar la cobertura y el uso del suelo en la comunidad de Maikiuants, ubicada en la Cordillera del Cóndor, provincia de Morona Santiago. El estudio se desarrolló mediante el uso de imágenes satelitales obtenidas de PlanetScope, procesadas en QGIS a través de clasificación no supervisada con K-means y clasificación supervisada con Support Vector Machine. Los resultados obtenidos fueron integrados con información de campo registrada mediante QField, ortofotos generadas con dron y criterios de uso territorial definidos a partir de referencias comunitarias y nacionales. Como resultado, se elaboró un mapa final de cobertura y uso del suelo para un área total de 9.125,86 ha. La categoría predominante fue conservación estricta, con 8.363,22 ha, equivalente al 91,64 % del territorio. Las demás categorías presentaron menor extensión: uso sustentable con 446,57 ha (4,89 %), bajo uso con 268,61 ha (2,94 %), infraestructura con 34,13 ha (0,37 %) y áreas sin información con 13,32 ha (0,16 %). Además, la caracterización vegetal permitió asociar las categorías cartográficas con especies representativas de bosque nativo, vegetación secundaria y sistemas agroforestales. Estos resultados aportan una base técnica para la gestión territorial comunitaria y el monitoreo de la cobertura vegetal en Maikiuants.

**Palabras clave:** Cartografía comunitaria, Cobertura vegetal, Cordillera del Cóndor, Maikiuants, Teledetección, Uso del suelo.

## **Abstract**

This research aimed to characterize land cover and land use in the community of Maikiuants, located in the Cordillera del Cóndor, Morona Santiago Province. The study was conducted using PlanetScope satellite imagery, processed in QGIS through unsupervised classification with K-means and supervised classification with Support Vector Machine. The results were integrated with field information recorded using QField, drone-derived orthophotos, and territorial-use criteria defined from community and national references. As a result, a final land cover and land-use map was produced for a total area of 9,125.86 ha. The predominant category was strict conservation, covering 8,363.22 ha, equivalent to 91.64% of the territory. The remaining categories occupied smaller areas: sustainable use with 446.57 ha (4.89%), low use with 268.61 ha (2.94%), infrastructure with 34.13 ha (0.37%), and areas with no information with 13.32 ha (0.16%). In addition, the vegetation characterization made it possible to associate the mapped categories with representative species of native forest, secondary vegetation, and agroforestry systems. These results provide a technical basis for community territorial management and the monitoring of vegetation cover in Maikiuants.

**Keywords:** Community mapping, Land cover, Land use, Maikiuants, Remote sensing, Cordillera del Cóndor.

## Índice de contenidos

1. Introducción .....	1
2. Metodología .....	4
2.1 Área de estudio.....	4
2.2 Identificación de categorías de uso de suelo .....	6
2.3 Procesamiento de imágenes satelitales y análisis SIG .....	7
2.4 Clasificación no supervisada.....	8
2.5 Clasificación supervisada.....	9
2.6 Adquisición y procesamiento de imágenes de dron.....	10
2.7 Verificación en campo .....	11
2.8 Integración de clasificaciones supervisada y no supervisada.....	12
2.9 Cálculo de áreas y porcentajes por categoría .....	12
2.10 Caracterización de la vegetación.....	13
3. Resultados .....	14
3.1 Clasificación no supervisada de la cobertura vegetal.....	14
3.2 Clasificación de uso de suelo .....	16
3.3 Clasificación supervisada.....	17
3.4 Verificación de coberturas en campo y apoyo con ortofotos de dron.....	18
3.5 Mapa final integrado de cobertura y uso del suelo.....	20
3.6 Caracterización de especies por tipo de uso de suelo.....	21
4. Discusión.....	23
5. Lista de referencias .....	26
6. Anexos .....	29

## Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b> Clasificación de categorías del Sistema de Clasificación de Cobertura y Uso de la Tierra del Ecuador y su relación con las categorías definidas por el PSHA .....	7
<b>Tabla 2.</b> Clasificación de la cobertura vegetal y uso de suelo de la comunidad de Maikiuants .....	14
<b>Tabla 3.</b> Clasificación de uso de suelo de la comunidad de Maikiuants.....	16
<b>Tabla 4.</b> Clasificación de cobertura y uso de suelo de la comunidad de Maikiuants.....	18
<b>Tabla 5.</b> Superficie por categoría de uso del suelo en la comunidad de Maikiuants .....	20

## Índice de mapas

<b>Mapa 1.</b> Ubicación geográfica de la comunidad de Maikiuants y delimitación del área de estudio.....	6
<b>Mapa 2.</b> Clasificación no supervisada (K-means) .....	15
<b>Mapa 3.</b> Clasificación no supervisada (K-means) según categorías comunitarias de cobertura y uso de suelo.....	17
<b>Mapa 4.</b> Clasificación supervisada de cobertura y uso de suelo en la comunidad de Maikiuants. ....	18
<b>Mapa 5.</b> Distribución espacial de las ortofotos obtenidas mediante vuelos de dron como apoyo para la verificación de coberturas en la comunidad de Maikiuants. ....	19
<b>Mapa 6.</b> Mapa final integrado de cobertura y uso del suelo de la comunidad de Maikiuants	21

## Índice de anexos

<b>Anexo 1.</b> Tabla de especies registradas en áreas de conservación estricta (bosque primario) .....	29
<b>Anexo 2.</b> Tabla de especies registradas en áreas de bajo uso (bosque secundario).....	30
<b>Anexo 3.</b> Tabla de especies registradas en áreas de uso sustentable (fincas y huertos).....	31
<b>Anexo 4.</b> Transectos en campo .....	34
<b>Anexo 5.</b> Verificación de coberturas .....	35
<b>Anexo 6.</b> Vuelos de dron .....	37
<b>Anexo 7.</b> Identificación de especies en el herbario de la Universidad del Azuay .....	38
<b>Anexo 8.</b> Procesamiento de imágenes .....	38

## 1. Introducción

Ecuador es reconocido como uno de los países más megadiversos del planeta, albergando ecosistemas que varían desde los páramos altoandinos hasta los bosques amazónicos. Dentro de este contexto, la Cordillera del Cóndor sobresale como una zona prioritaria, descrita desde las primeras expediciones científicas como un área que podría contener “la flora más rica de cualquier área de similar tamaño en el Nuevo Mundo”, donde además se documentaron especies nuevas para la ciencia, entre ellas el marsupial endémico *Caenolestes condorensis* (Neill, 1997). Investigaciones posteriores han corroborado esta importancia al reportar una elevada diversidad de herpetofauna, incluyendo especies posiblemente no descritas (Almendáriz et al., 2014). En este entorno de alta biodiversidad se asienta el territorio del Pueblo Shuar Arutam, un espacio donde comunidades como Maikiuants mantienen una estrecha relación con el bosque, gestionando sus huertos familiares (*ajas*) y subsistiendo mediante prácticas que poseen un profundo valor productivo, espiritual y cultural (Shuar AJA, 2015; Sabiduría Shuar, 2012).

Sin embargo, este patrimonio natural y cultural enfrenta una problemática compleja y creciente. A pesar del vínculo cultural y territorial que la comunidad mantiene con el entorno, las presiones externas amenazan la sostenibilidad del territorio. La provincia de Morona Santiago ha sufrido una deforestación constante desde los años noventa, impulsada por la expansión agropecuaria y la colonización (Camacho et al., 2022). Más grave aún es la amenaza de la minería metálica a gran escala, que ha fragmentado el bosque, desplazado comunidades y generando conflictos sociales y de uso del suelo (Yépez et al., 2018). Esta degradación ambiental ocurre en un escenario de escasez de información, pues gran parte de esta biodiversidad permanece poco estudiada debido a la difícil accesibilidad de la zona y a conflictos sociopolíticos históricos. Comprender y gestionar un territorio tan heterogéneo exige datos actualizados sobre la dinámica de sus ecosistemas; no obstante, los métodos tradicionales de levantamiento territorial resultan costosos y limitados para abarcar grandes superficies con precisión en zonas remotas (Curatola Fernández et al., 2015). Existe, por tanto, una brecha crítica entre la necesidad urgente de monitorear estas amenazas y la capacidad técnica convencional para hacerlo.

Para abordar la falta de información en ecosistemas tan complejos, es necesario optar a enfoques tecnológicos y teóricos avanzados. Desde una perspectiva conceptual, el territorio debe entenderse como un sistema socio ecológico dinámico, donde los cambios en la cobertura

responden tanto a presiones humanas como a procesos naturales (IIED, 2016). En este marco, la teledetección se posiciona como una herramienta fundamental para superar las limitaciones del trabajo de campo tradicional, ofreciendo datos sistemáticos y de amplia cobertura (Kerry et al., 2022). El fundamento científico que respalda el uso de estas tecnologías para estudios de biodiversidad es la Hipótesis de la Variabilidad Espectral (SVH), la cual plantea que la heterogeneidad espectral observada en una imagen satelital es un reflejo directo de la diversidad biológica y funcional del terreno; es decir, la variación en cómo la vegetación refleja la luz indica la complejidad del ecosistema (Lausch et al., 2024; Wang et al., 2019).

En la actualidad, la integración de sensores satelitales, como Sentinel-2 o Landsat, con vuelos de drones permite capturar esta variabilidad a múltiples escalas. En áreas tropicales y andinas, donde la nubosidad es un desafío frecuente, el uso de algoritmos de aprendizaje automático y la fusión de datos espectrales con verificaciones de campo permiten modelar la estructura del bosque y calcular índices de vegetación, como el NDVI o el EVI, con alta precisión (Ranglong et al., 2025). Estas herramientas no se limitan a la observación, sino que constituyen un soporte teórico-metodológico para la interpretación de la funcionalidad ecológica y de los cambios en el paisaje. La aplicación de estas tecnologías en la Amazonía y los Andes tropicales representa una alternativa metodológica eficiente, permitiendo una caracterización más precisa de la cobertura de uso de suelo mediante la integración de información espectral, estructural y funcional (Lausch et al., 2024).

En este contexto, la clasificación digital de imágenes constituye un procedimiento central en teledetección, ya que permite transformar la variabilidad espectral en categorías cartográficas de cobertura y uso del suelo. La clasificación supervisada utiliza muestras de entrenamiento para asignar los píxeles o segmentos a clases previamente definidas, mientras que la clasificación no supervisada agrupa valores espectrales similares sin categorías iniciales, lo que resulta útil para reconocer patrones en áreas con limitada información de campo (Rwanga & Ndambuki, 2017). La integración de estos enfoques, apoyada en herramientas SIG y en criterios territoriales definidos por la comunidad, permite complementar la delimitación de coberturas en paisajes heterogéneos, especialmente cuando existen clases con similitud espectral o zonas de difícil acceso. En este sentido, Rozenstein y Karnieli (2011) señalan que la combinación de datos de teledetección con información auxiliar en SIG contribuye a generar mapas de uso del suelo más consistentes y actualizados.

La realización de esta investigación se justifica, finalmente, por la necesidad de generar información confiable que permita la defensa y gestión del territorio Shuar Arutam. Dado que los métodos convencionales son insuficientes en la topografía de la Cordillera del Cóndor, la aplicación de la teledetección y la cartografía comunitaria constituye un aporte técnico y social de gran relevancia. Desde el punto de vista científico, el estudio valida metodologías de clasificación en zonas de alta complejidad climática y topográfica (Curatola Fernández et al., 2015). Sin embargo, la justificación principal radica en su valor práctico para la comunidad de Maikiuants. La generación de cartografía temática y el análisis técnico de la cobertura vegetal servirán como insumos directos para la elaboración y fortalecimiento de sus Planes de Vida, permitiéndoles identificar áreas estratégicas de caza, pesca y conservación, así como zonas afectadas por la minería (Delgado-Aguilar et al., 2019; IIED, 2017). Este trabajo busca dotar a la comunidad de una base técnica sólida que fortalezca su autonomía, garantice la continuidad de su cultura y apoye la conservación de uno de los ecosistemas más biodiversos y amenazados del país.

Por las razones expuestas, este estudio tiene como objetivo caracterizar el uso del suelo en la comunidad de Maikiuants a partir de información obtenida mediante sensores remotos, con el fin de generar cartografía actualizada que contribuya a la gestión territorial comunitaria.

## **2. Metodología**

### **2.1 Área de estudio**

La investigación se desarrolló en el territorio de la comunidad de Maikiuants, ubicada en la Cordillera del Cóndor, provincia de Morona Santiago, Ecuador. Esta cordillera corresponde a un sistema montañoso subandino localizado en el borde occidental de la Amazonía, caracterizado por relieves escarpados, colinas y mesetas asociadas a sustratos de arenisca.

El área de estudio se localiza aproximadamente entre las coordenadas 800000–810000 m E y 9650000–9660000 m N, en el sistema UTM, datum WGS84, zona 17S, dentro de la región biogeográfica amazónica (Mapa 1). Esta área corresponde al territorio de la comunidad de Maikiuants y comprende una superficie total de 9.125,86 ha.

De acuerdo con el Sistema de Clasificación de Ecosistemas del Ecuador, el área de estudio comprende cuatro ecosistemas principales: bosque siempreverde piemontano sobre mesetas de arenisca de las Cordilleras del Cóndor-Kutukú, bosque siempreverde piemontano de las Cordilleras del Cóndor-Kutukú, bosque siempreverde montano bajo de las Cordilleras del Cóndor-Kutukú y bosque siempreverde montano de las Cordilleras del Cóndor-Kutukú (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2013).

El bosque siempreverde piemontano sobre mesetas de arenisca de las Cordilleras del Cóndor–Kutukú se distribuye entre los 350 y 1400 m de altitud y se desarrolla sobre sustratos areniscosos en relieves montañosos y mesetas con buen drenaje. Se caracteriza por presentar bosques densos con alturas entre 10 y 12 m, y árboles emergentes que pueden alcanzar hasta los 15 m. En el sotobosque se observa una abundante presencia de arbustos, arbolitos, helechos, trepadoras y hemiepífitas, mientras que el suelo presenta una gruesa capa de materia orgánica producto de la acumulación de hojarasca. Estos ecosistemas se establecen en pendientes que oscilan entre el 16% y el 50%, en terrenos escarpados con suelos bien drenados derivados de arenisca.

El bosque siempreverde piemontano de las Cordilleras del Cóndor–Kutukú corresponde a formaciones boscosas húmedas asociadas al piso piemontano amazónico, distribuidas entre los 350 y 1400 m de altitud. Se caracteriza por presentar un bosque denso con dosel cerrado que alcanza aproximadamente los 20 m de altura, con árboles emergentes que superan los 30 m. Este ecosistema presenta una alta diversidad florística y abundante presencia de epífitas,

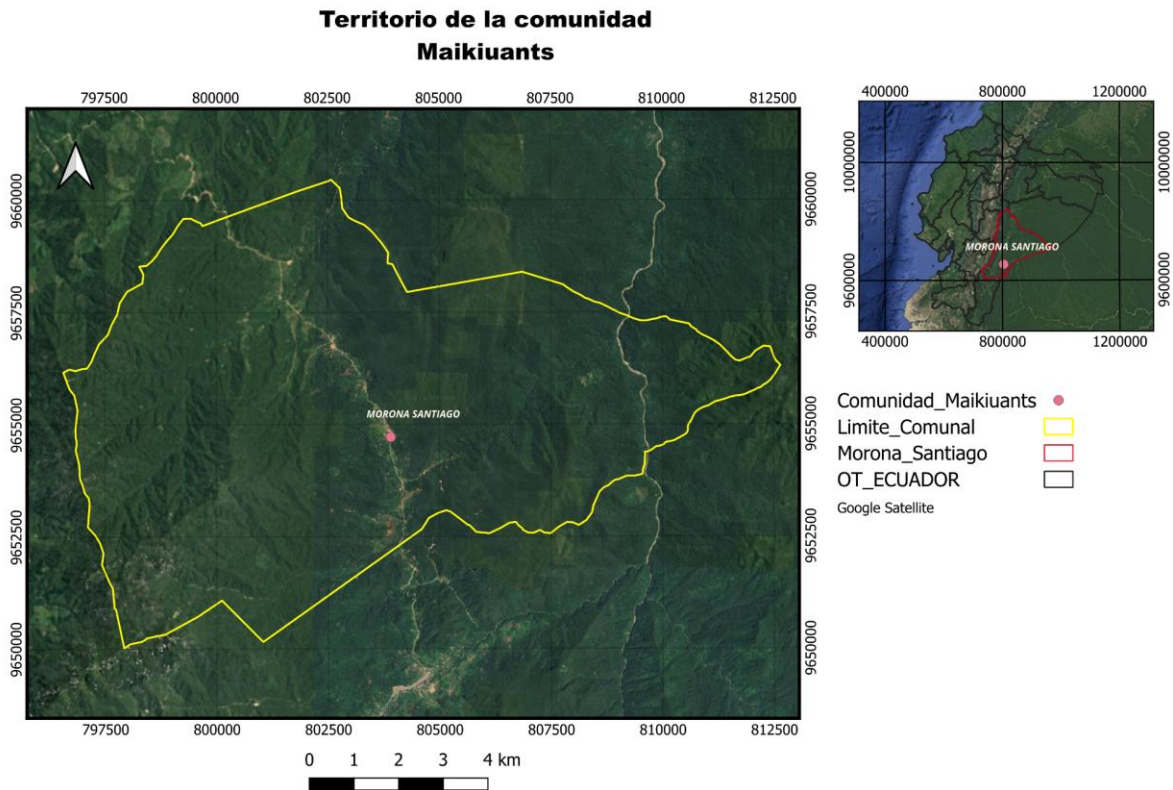
desarrollándose en laderas y depresiones del piedemonte de las cordilleras del Cóndor y Kutukú.

El bosque siempreverde montano bajo de las Cordilleras del Cóndor–Kutukú se distribuye entre los 1400 y 1900 m de altitud, ocupando laderas escarpadas y colinas altas en zonas de mayor elevación. Se caracteriza por presentar un dosel cerrado con alturas que oscilan entre los 15 y 20 m, con árboles emergentes que pueden alcanzar hasta los 25 m. Este ecosistema se desarrolla sobre sustratos de origen metamórfico e ígneo y presenta una vegetación arbustiva densa en el sotobosque, con abundante presencia de musgos y una considerable acumulación de hojarasca en el suelo.

Por último, el bosque siempreverde montano de las Cordilleras del Cóndor–Kutukú se distribuye entre los 1900 y 2400 m de altitud, ocupando colinas altas y escarpes en zonas de mayor elevación. Se caracteriza por presentar un dosel de aproximadamente 12 m de altura y una cobertura entre el 65 y 70%, evidenciando una estructura más baja en comparación con los bosques de menor altitud. Presenta abundante presencia de epífitas y briófitos, que contribuyen a la retención de humedad, y un sotobosque denso dominado por especies del género *Chusquea*. Se desarrolla sobre sustratos de origen metamórfico, ígneo y depósitos derivados de areniscas.

En términos climáticos, la región presenta un clima tropical húmedo, caracterizado por temperaturas relativamente estables y altos niveles de precipitación. En la provincia de Morona Santiago la temperatura media anual se sitúa alrededor de 21 °C, mientras que la precipitación anual puede variar entre 1200 y 3000 mm, dependiendo de la altitud y de la influencia de la topografía montañosa que favorece la formación de lluvias orográficas (Neill, 1997, GAD Limón Indanza. 2023).

**Mapa 1.** Ubicación geográfica de la comunidad de Maikiuants y delimitación del área de estudio



**Sistema de coordenadas:** UTM Zona 17S

**Datum:** WGS84

**Fuente:** Delimitación territorial proporcionada por la comunidad de Maikiuants (Yépez et al., 2018).

## 2.2 Identificación de categorías de uso de suelo

Se identificaron cuatro categorías de uso del suelo: conservación estricta, bajo uso, uso sustentable e infraestructura. Estas categorías se definieron con base en la información generada por la comunidad de Maikiuants en el marco del Plan de Vida del Pueblo Shuar Arutam (Yépez et al., 2018, Fundación Natura. 2010) y de la revisión de las categorías presentadas en *Territorio, bosques y cultura en la cordillera del Cóndor* (Kingman et al., 2010, Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Santiago de Méndez, 2021), documentos que establecen lineamientos de zonificación y uso del territorio.

- Conservación estricta corresponde al bosque nativo sin intervención.
- Bajo uso incluye el bosque secundario o intervenido.
- Uso sustentable abarca ajas y mosaicos agroforestales
- Infraestructura comprende caminos, construcciones, y áreas con suelo descubierto.

La clasificación de categorías también se fundamenta en el Sistema de Clasificación de Cobertura y Uso de la Tierra del Ecuador (MAE–MAGAP, 2023) (Tabla 1).

**Tabla 1.** *Clasificación de categorías del Sistema de Clasificación de Cobertura y Uso de la Tierra del Ecuador y su relación con las categorías definidas por el PSHA*

<b>Categorías del MAE – MAGAP (2023)</b>	<b>Categorías uso de suelo en Maikiuants</b>	<b>Descripción</b>
<b>Bosque nativo</b>	<b>Conservación estricta</b>	Áreas de bosque primario sin intervención
<b>Vegetación arbustiva o herbácea</b>	<b>Bajo uso</b>	Bosques secundarios o zonas en regeneración natural
<b>Tierra agropecuaria / mosaico agroforestal</b>	<b>Uso sustentable</b>	Ajas, chacras, pastizales y cultivos diversificados
<b>Zona antrópica / Otras tierras</b>	<b>Infraestructura</b>	Caminos, viviendas, áreas intervenidas o sin cobertura vegetal

**Fuente:** MAE – MAGAP, 2023; Yépez et al., 2018.

Adicionalmente, se mantuvo la categoría “sin información” para representar áreas que no pudieron ser asignadas de manera confiable a ninguna de las clases principales durante el procesamiento cartográfico.

### **2.3 Procesamiento de imágenes satelitales y análisis SIG**

El análisis espacial se desarrolló en el software QGIS, utilizando imágenes satelitales de alta resolución correspondientes al área de estudio. Las imágenes fueron obtenidas mediante la plataforma PlanetScope, con una resolución espacial de 3 m por píxel. Se seleccionó una imagen satelital con fecha de captura del 07 de agosto de 2025, debido a que presentaba condiciones de baja cobertura nubosa en el área de estudio, lo cual permitió asegurar una adecuada calidad radiométrica y minimizar interferencias en los procesos de clasificación.

El insumo principal consistió en imágenes multiespectrales de ocho bandas, complementadas con composiciones en color natural (RGB), las cuales fueron empleadas como variables de entrada para los análisis realizados. Las imágenes se trabajaron en el sistema de referencia UTM, datum WGS84, zona 17S.

Previo a la etapa de clasificación, las imágenes fueron recortadas al límite del territorio comunitario mediante herramientas de procesamiento raster, con el fin de restringir el análisis exclusivamente al área de estudio.

A partir de este conjunto de datos se desarrollaron los procesos de clasificación supervisada y no supervisada.

## **2.4 Clasificación no supervisada**

La clasificación no supervisada se realizó mediante el algoritmo K-means, el cual agrupa los píxeles de la imagen en función de su similitud espectral, sin requerir datos de entrenamiento previos. Este enfoque permite identificar patrones homogéneos de cobertura dentro del área de estudio a partir de la información multispectral disponible.

El proceso se desarrolló en el software QGIS, empleando como insumo las bandas multispectrales de la imagen satelital. El algoritmo fue configurado con un total de 15 clases espectrales, un máximo de 20 iteraciones y un método de inicialización aleatoria. Adicionalmente, se aplicó un proceso de normalización de las bandas con el fin de asegurar que todas las variables espectrales tuvieran el mismo peso durante la clasificación. Como resultado, el algoritmo agrupó los píxeles en 15 clases espectrales que representan variaciones en la reflectancia de las diferentes coberturas y características del terreno dentro del área de estudio.

Posteriormente, se llevó a cabo la interpretación de las clases espectrales. Este proceso permitió establecer correspondencias entre las clases generadas y los distintos tipos de cobertura y uso del suelo presentes en el área.

En una primera fase de interpretación, el bosque nativo fue subdividido en cuatro subtipos a partir de diferencias en la respuesta espectral y la heterogeneidad de la cobertura vegetal, lo que permitió una caracterización más detallada de las unidades ecológicas del territorio. En este sentido, las clases 6 y 7 fueron interpretadas como bosque siempreverde piemontano sobre mesetas de arenisca de las Cordilleras del Cóndor–Kutukú; las clases 13 y 14 como bosque siempreverde piemontano de las Cordilleras del Cóndor–Kutukú; las clases 15 y 11 como bosque siempreverde montano de las Cordilleras del Cóndor–Kutukú; y las clases 12, 8 y 9 como bosque siempreverde montano bajo de las Cordilleras del Cóndor–Kutukú.

Para apoyar la interpretación temática de las clases espectrales obtenidas, se utilizó como referencia el mapa de ecosistemas del Ecuador, proporcionados por el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAE, 2023). Este mapa detalla la distribución de los distintos ecosistemas dentro del territorio y fueron empleados para asociar las clases espectrales de la clasificación no supervisada con los tipos de ecosistemas correspondientes.

Paralelamente, se realizó la asignación de las clases espectrales a categorías de uso del suelo, donde las clases 1, 2 y 5 fueron agrupadas como zonas de infraestructura, la clase 3 se asoció al uso sustentable y la clase 4 al bajo uso. La clase 10 no fue considerada en el análisis final debido a su escasa representación espacial dentro del área de estudio.

En una fase posterior, las clases espectrales fueron integradas en categorías temáticas más amplias, en función de su comportamiento espectral y su contexto ecológico. De esta manera, se consolidaron cuatro categorías principales: bosque nativo o conservación estricta, que agrupa las clases 6, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 14 y 15; vegetación arbustiva/herbácea o bajo uso, correspondiente a la clase 4; uso sustentable, asociado a la clase 3; y zonas antrópicas, que incluyen las clases 1, 2 y 5.

## **2.5 Clasificación supervisada**

La clasificación supervisada se realizó con el objetivo de complementar la delimitación temática de las coberturas y usos del suelo mediante la incorporación de muestras de entrenamiento representativas del área de estudio. Para este proceso se utilizó la imagen satelital original en composición de color natural RGB, sin reclasificaciones ni ajustes manuales previos al procesamiento. Esta composición permitió interpretar visualmente las coberturas presentes en el territorio y definir muestras de entrenamiento asociadas a las categorías de análisis.

El procedimiento se desarrolló en el software QGIS mediante herramientas de Orfeo ToolBox (OTB) y procesos de análisis vectorial. En primer lugar, se aplicó una segmentación de la imagen RGB con el propósito de generar unidades espaciales homogéneas, utilizadas posteriormente como unidades de clasificación. A partir de estos segmentos se calcularon estadísticas zonales para cada banda de la imagen RGB, considerando principalmente la media y la desviación estándar de los valores espectrales. Estas variables permitieron caracterizar la respuesta espectral promedio y la variabilidad interna de cada segmento.

Posteriormente, las muestras de entrenamiento fueron asociadas a los segmentos mediante unión espacial de atributos, de modo que cada unidad de entrenamiento quedara vinculada con una categoría temática. Con esta información se entrenó un modelo de clasificación supervisada mediante el algoritmo Support Vector Machine (SVM), utilizando la herramienta Train Vector Classifier de OTB. El modelo generado fue aplicado al conjunto de segmentos mediante la herramienta Vector Classifier, asignando cada unidad espacial a la clase con mayor correspondencia según sus atributos estadísticos derivados de la imagen RGB.

Inicialmente, se planteó una clasificación con cuatro categorías: conservación estricta, bajo uso, uso sustentable e infraestructura. Sin embargo, los resultados preliminares de este proceso evidenciaron confusión entre las categorías de conservación estricta y bajo uso, debido a la similitud visual y espectral entre áreas de bosque continuo, vegetación secundaria y zonas con distintos grados de intervención. Esta limitación estuvo relacionada con el uso de la composición RGB, ya que las bandas visibles no siempre permiten diferenciar con claridad variaciones estructurales o sucesionales de la cobertura vegetal (Helmer et al., 2012).

Ante esta situación, se ajustó el esquema de clasificación a tres clases: bosque/cobertura vegetal, uso sustentable e infraestructura. La clase bosque/cobertura vegetal agrupó las áreas correspondientes a conservación estricta y bajo uso, mientras que las clases de uso sustentable e infraestructura representaron zonas productivas, caminos, construcciones y áreas con menor cobertura vegetal.

Para cada clase se generaron aproximadamente 3000 puntos de entrenamiento a partir de la interpretación visual de la imagen RGB, la verificación en campo y el apoyo de ortofotos obtenidas con dron. Estas muestras permitieron representar la variabilidad visual y espectral existente dentro de cada categoría. Como resultado, se obtuvo una clasificación supervisada preliminar basada en segmentos, compuesta por tres clases principales.

## **2.6 Adquisición y procesamiento de imágenes de dron**

Se realizaron vuelos con dron en diferentes sectores del área de estudio, con el fin de obtener imágenes aéreas de alta resolución que complementen la información satelital. A partir de estas imágenes se generaron ortofotos mediante el software Pix4D.

Las ortofotos fueron utilizadas como insumo de apoyo en el proceso de análisis, particularmente para la verificación visual de coberturas en zonas de difícil acceso, la

identificación de patrones de uso del suelo a escala local y la comparación con la información proveniente de la imagen satelital en composición RGB. Este contraste permitió evidenciar diferencias en ciertas áreas, asociadas principalmente a cambios recientes en la cobertura vegetal no captados en la imagen satelital.

Es importante señalar que la cobertura espacial de las ortofotos generadas fue limitada en relación con la extensión total del territorio comunitario, debido a las restricciones operativas del equipo utilizado (DJI Mini 3). Factores como la autonomía operativa del dron, la complejidad del relieve montañoso, la presencia de vegetación densa y las condiciones climáticas frecuentes, como nubosidad y precipitación, condicionaron la adquisición de datos.

Adicionalmente, los vuelos se realizaron de manera manual, sin planificación automatizada de rutas, lo que implicó la obtención de ortofotos en áreas puntuales y de extensión reducida. A pesar de estas limitaciones, la información generada resultó útil como complemento para la interpretación de las coberturas y apoyar la verificación en campo.

## **2.7 Verificación en campo**

La verificación en campo se realizó con el objetivo de contrastar y complementar la información obtenida a partir del análisis de imágenes satelitales, así como de apoyar la interpretación de las coberturas de uso del suelo en el área de estudio.

Para el levantamiento de información se utilizó la aplicación móvil QField, esta herramienta permitió registrar directamente puntos georreferenciados asociados a los distintos tipos de cobertura y uso del suelo.

Durante las salidas de campo se realizó la identificación directa de coberturas, considerando criterios visuales y estructurales de la vegetación, así como el uso actual del suelo. Esta información fue utilizada para apoyar la selección de muestras de entrenamiento en la clasificación supervisada, así como para la interpretación de las clases obtenidas en la clasificación no supervisada.

Adicionalmente, la verificación permitió contrastar la información derivada de las imágenes satelitales con las condiciones reales del territorio, identificando diferencias asociadas principalmente a cambios recientes en la cobertura vegetal y en el uso del suelo.

## **2.8 Integración de clasificaciones supervisada y no supervisada**

A partir de los resultados preliminares de la clasificación supervisada y no supervisada, y considerando la información obtenida durante la verificación en campo y el análisis de ortofotos de dron, se realizó la integración final de las categorías de cobertura y uso del suelo, principalmente en aquellas áreas donde la categoría de bajo uso no fue representada adecuadamente en la clasificación supervisada.

El procedimiento se desarrolló en QGIS mediante herramientas de geoprocamiento vectorial. En primer lugar, se aplicó la herramienta Intersección para comparar espacialmente ambas clasificaciones e identificar coincidencias y diferencias entre las categorías. Posteriormente, se utilizó Seleccionar por localización para reconocer los polígonos de la clasificación no supervisada que coincidían con áreas no representadas o parcialmente representadas en la clasificación supervisada. A partir de este proceso, se extrajeron de forma independiente los polígonos correspondientes a cada categoría de cobertura y uso del suelo.

Para evitar la superposición entre clases, los polígonos fueron procesados de manera iterativa por categoría. Las áreas ya asignadas a una clase fueron excluidas de las siguientes mediante la herramienta Diferencia, con el propósito de mantener categorías mutuamente excluyentes dentro del área de estudio. Luego, los polígonos ajustados se integraron mediante Unir capas vectoriales y se aplicó Disolver para agrupar los elementos pertenecientes a una misma categoría. Este procedimiento permitió obtener una capa final sin duplicidad espacial entre clases, evitando que el cálculo de superficies excediera el área real del territorio analizado.

La categoría de bajo uso fue incorporada a partir de los polígonos identificados en la clasificación no supervisada, considerando su correspondencia espacial con la interpretación del terreno y con las características observadas durante el análisis de coberturas. Finalmente, la capa integrada fue revisada para verificar que no existieran solapamientos entre categorías y que las superficies calculadas en hectáreas y porcentaje correspondieran al área total evaluada.

## **2.9 Cálculo de áreas y porcentajes por categoría**

En la clasificación supervisada y no supervisada y la integración de las mismas, se calculó la superficie de cada categoría de cobertura y uso del suelo en hectáreas. El cálculo se realizó sobre la capa vectorial en el sistema UTM, datum WGS84, zona 17S, lo que permitió obtener áreas en unidades métricas. Posteriormente, se agrupó la superficie por categoría y se estimó

su porcentaje respecto al área total del territorio comunitario de Maikiuants, correspondiente a 9125,86 ha.

## **2.10 Caracterización de la vegetación**

La caracterización de la vegetación se realizó con el propósito de apoyar la interpretación ecológica de las coberturas identificadas en el área de estudio.

Debido a las limitaciones de acceso y tiempo de muestreo, la caracterización directa mediante transectos se concentró en las áreas correspondientes a conservación estricta. Se establecieron transectos de  $50 \times 2$  m, en los cuales se registraron individuos arbóreos con diámetro a la altura del pecho (DAP) superior a 20 cm. A partir de estos muestreos se identificaron las especies más representativas, lo que permitió caracterizar la composición forestal dominante en este tipo de cobertura.

La caracterización se complementó con información secundaria proveniente de estudios realizados en el mismo territorio, específicamente del trabajo de Sawko (2025), el cual incluye registros de composición vegetal obtenidos bajo condiciones similares de muestreo. Esta información permitió ampliar la interpretación de las coberturas sin necesidad de replicar el esfuerzo de muestreo en campo.

Durante el proceso, el reconocimiento de especies fue apoyado por miembros de la comunidad, cuyo conocimiento local contribuyó a la identificación de las especies presentes en el área de estudio. Asimismo, cuando fue necesario, se recolectaron muestras botánicas que fueron posteriormente identificadas en el herbario de la Universidad del Azuay, lo que permitió asegurar la correcta determinación de las especies registradas.

### 3. Resultados

#### 3.1 Clasificación no supervisada de la cobertura vegetal

A partir de la aplicación del algoritmo de clasificación no supervisada (K-means), se generó una clasificación multiclase de la cobertura vegetal y uso de suelo, la cual permitió identificar patrones espectrales diferenciados dentro del territorio comunitario. Esta clasificación fue posteriormente interpretada y reagrupada en unidades ecológicas representativas, correspondientes a distintos tipos de bosque y categorías de uso del suelo. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 2, donde se detallan las categorías identificadas, su área en hectáreas y el porcentaje que representan respecto al total del área analizada.

**Tabla 2.** *Clasificación de la cobertura vegetal y uso de suelo de la comunidad de Maikiuants*

Categoría	Área (ha)	Porcentaje (%)
Bosque siempreverde piemontano	2.074,85	22,74%
Bosque siempreverde piemontano sobre mesetas de arenisca	2.026,18	22,20%
Bosque siempreverde montano bajo	1.711,79	18,76%
Bosque siempreverde montano	1.689,61	18,52%
Bajo uso	959,25	10,51%
Uso sustentable	403,72	4,42%
Infraestructura	121,61	1,33%
Sin información	138,85	1,52%
<b>Total</b>	<b>9.125,86</b>	<b>100%</b>

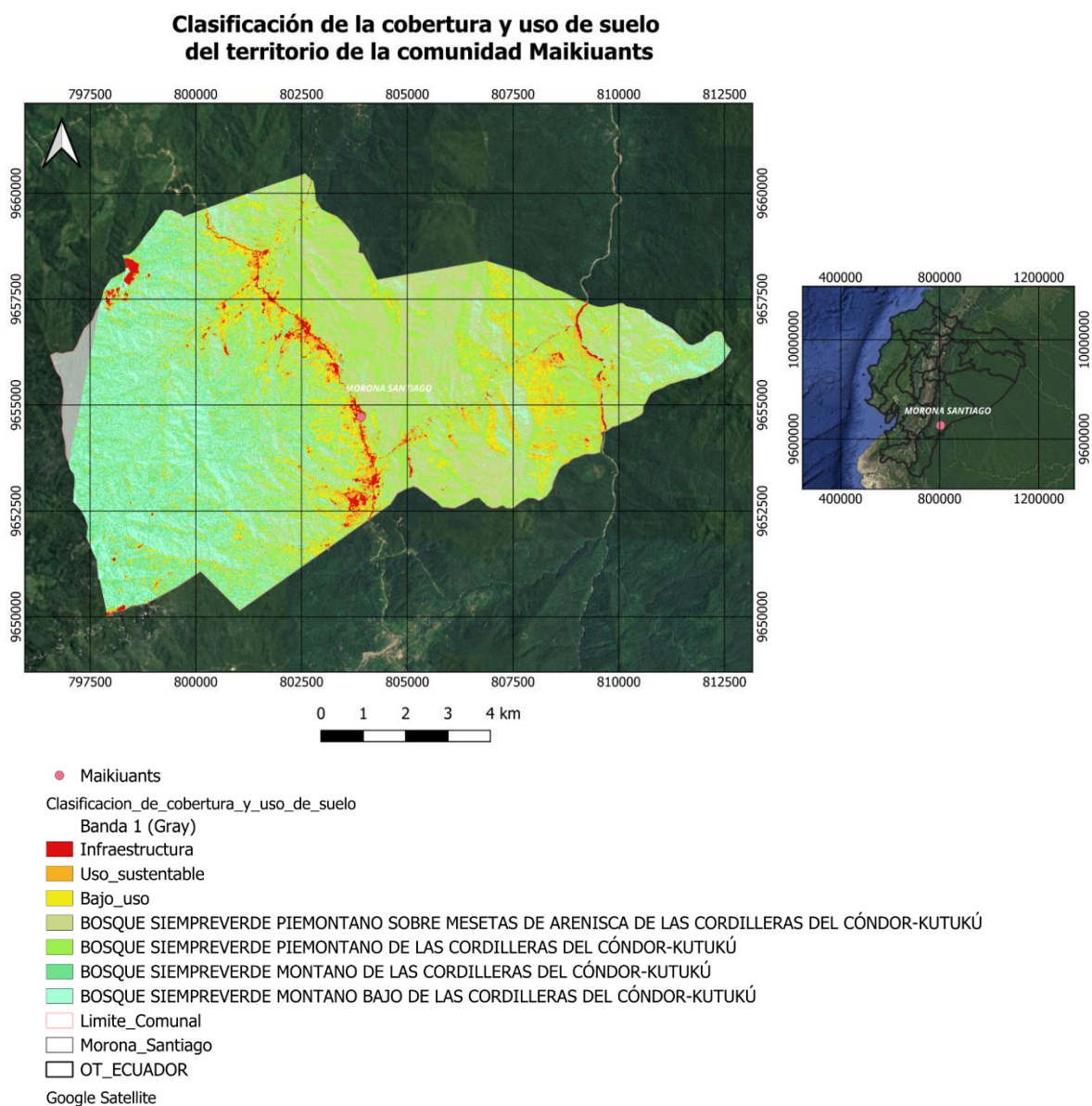
Fuente: MAE (2023); elaboración propia (2026).

Los resultados muestran que la mayor parte del territorio de la comunidad de Maikiuants está cubierta por formaciones boscosas. El bosque siempreverde piemontano constituye la categoría de mayor extensión, con el 22,74%, seguido por el bosque siempreverde piemontano sobre mesetas de arenisca, con el 22,20%. Por su parte, el bosque siempreverde montano bajo y el bosque siempreverde montano representan el 18,76% y 18,52%, respectivamente. En conjunto, estos tipos de bosque representan la mayor parte del territorio y se asocian a áreas de conservación estricta, reflejando el predominio de ecosistemas conservados dentro de la comunidad.

Las categorías vinculadas con usos antrópicos presentan una menor extensión en comparación con las formaciones boscosas. Bajo uso representa el 10,51% del área total, seguido de uso sustentable, con el 4,42%. Infraestructura representa apenas el 1,33% del territorio, evidenciando una baja intervención directa en términos de ocupación física del suelo.

En la clasificación también se identificaron áreas sin información, que corresponden a un 1,52% del total (138,85 ha). Estas áreas suelen estar asociadas a problemas, como nubes o sombras en las imágenes satelitales, que impiden la correcta identificación de las coberturas.

**Mapa 2. Clasificación no supervisada (K-means)**



**Sistema de coordenadas:** UTM Zona 17S

**Datum:** WGS84

**Fuente:** Elaboración propia (2026)

### 3.2 Clasificación de uso de suelo

Con el fin de facilitar la interpretación territorial, las clases obtenidas en la clasificación no supervisada fueron reagrupadas en categorías de uso del suelo. Los resultados de esta reclasificación se presentan en la Tabla 3.

**Tabla 3.** *Clasificación de uso de suelo de la comunidad de Maikiuants*

<b>Categoría</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Conservación estricta	7.502,43 ha	83,48 %
Bajo uso	959,25 ha	10,67 %
Uso sustentable	403,72 ha	4,49 %
Infraestructura	121,61 ha	1,35 %
Sin información	138,85 ha	1,52 %
<b>Total</b>	<b>9.125,86 ha</b>	<b>100,00 %</b>

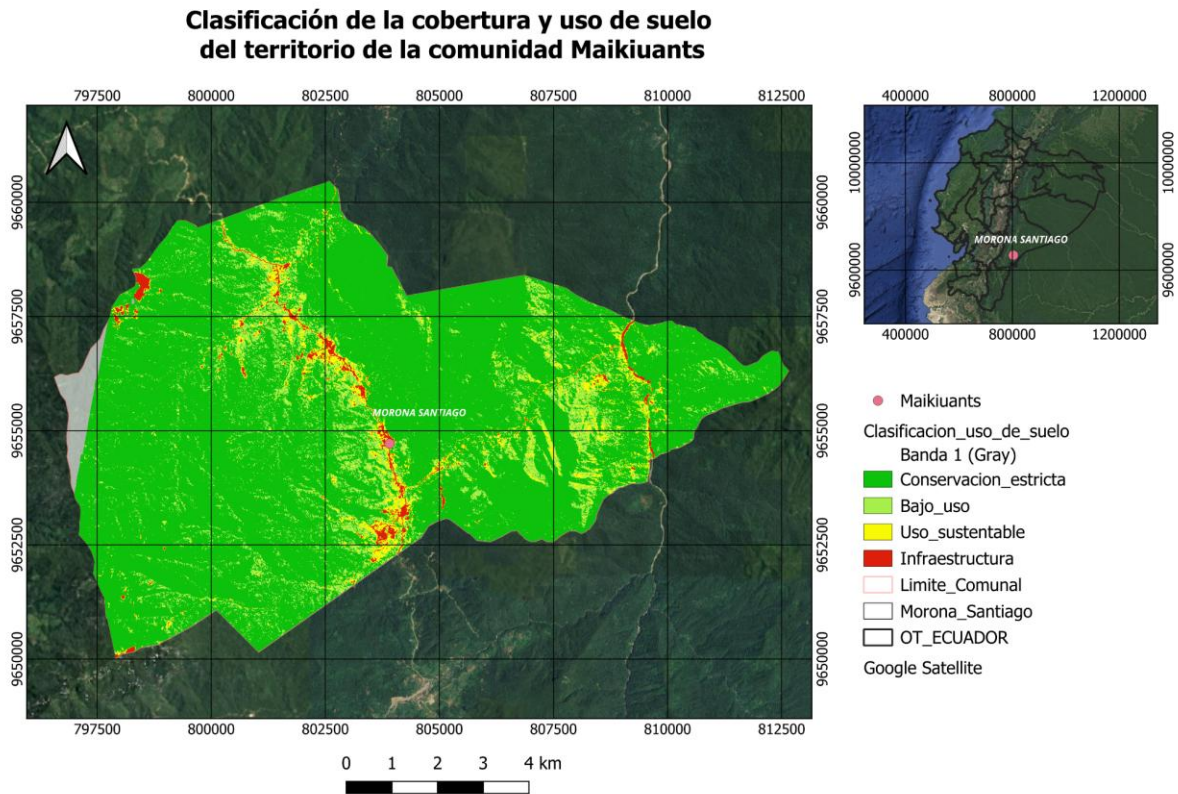
**Fuente:** Elaboración propia (2026)

La categoría de conservación estricta ocupa la mayor extensión dentro del territorio (83,48%), lo que confirma el predominio de áreas boscosas con bajo o ningún nivel de intervención. En segundo lugar, la categoría bajo uso representa el 10,67%, mientras que el uso sustentable abarca el 4,49% del área total.

Las zonas clasificadas como infraestructura presentan la menor cobertura (1,35%), lo que indica una limitada transformación directa del territorio. Estas proporciones reflejan un patrón de ocupación donde predomina la conservación del bosque, complementada por áreas de uso tradicional y espacios intervenidos de menor extensión.

Al igual que en la clasificación de la cobertura vegetal, se presentó una categoría de "sin información", que representa un pequeño porcentaje (1,52% del área total). En este caso, estas áreas también fueron excluidas del análisis de uso de suelo debido a la presencia de nubes, sombras o falta de datos en algunas secciones del territorio.

**Mapa 3.** Clasificación no supervisada (K-means) según categorías comunitarias de cobertura y uso de suelo



**Sistema de coordenadas:** UTM Zona 17S

**Datum:** WGS84

**Fuente:** Elaboración propia (2026)

### 3.3 Clasificación supervisada

En esta sección, se presentan los resultados obtenidos de la clasificación supervisada, que identificó tres clases principales: Bosque / Cobertura vegetal (conservación estricta y bajo uso), uso sustentable e infraestructura. Estos resultados corresponden al análisis inicial realizado mediante el algoritmo supervisado, antes de cualquier corrección o ajuste, ya que se observó que algunas áreas presentaban errores de clasificación, como partes de caminos mal identificados o zonas de uso sustentable no clasificados correctamente.

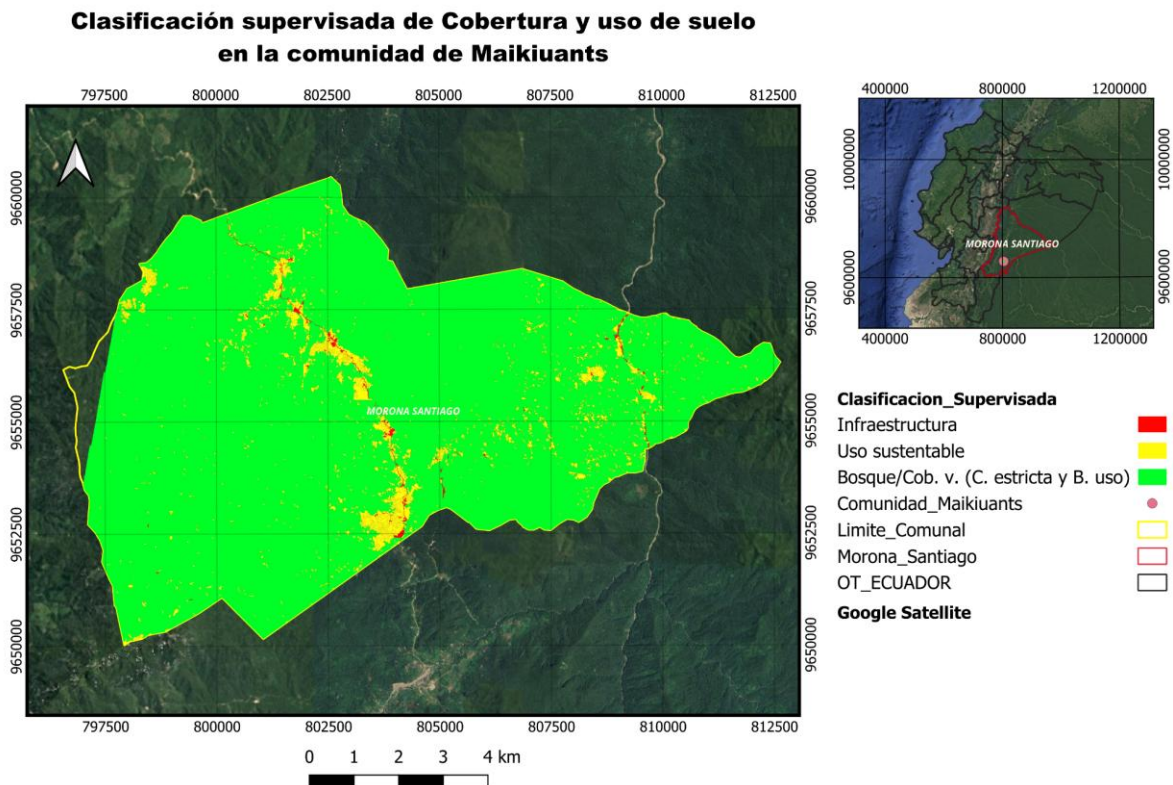
Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 4. La mayor superficie correspondió a bosque/cobertura vegetal, con 8.434,31 ha, equivalente al 92,42 % del territorio comunitario. El uso sustentable ocupó 509,97 ha, que representan el 5,59 %, mientras que la infraestructura alcanzó 30,72 ha, correspondiente al 0,34 %. Además, se registraron 150,86 ha sin información, equivalentes al 1,65 % del área total.

**Tabla 4.** Clasificación de cobertura y uso de suelo de la comunidad de Maikiuants

Categoría	Área (ha)	Porcentaje (%)
Bosque/Cobertura vegetal (C. estricta y bajo uso)	8.434,31	92,42%
Uso sustentable	509,97	5,59%
Infraestructura	30,72	0,34%
Sin información	150,86	1,65%
<b>Total</b>	<b>9.125,86 ha</b>	<b>100,00 %</b>

Fuente: Elaboración propia (2026)

**Mapa 4.** Clasificación supervisada de cobertura y uso de suelo en la comunidad de Maikiuants.



Sistema de coordenadas: UTM Zona 17S

Datum: WGS84

Fuente: Elaboración propia (2026)

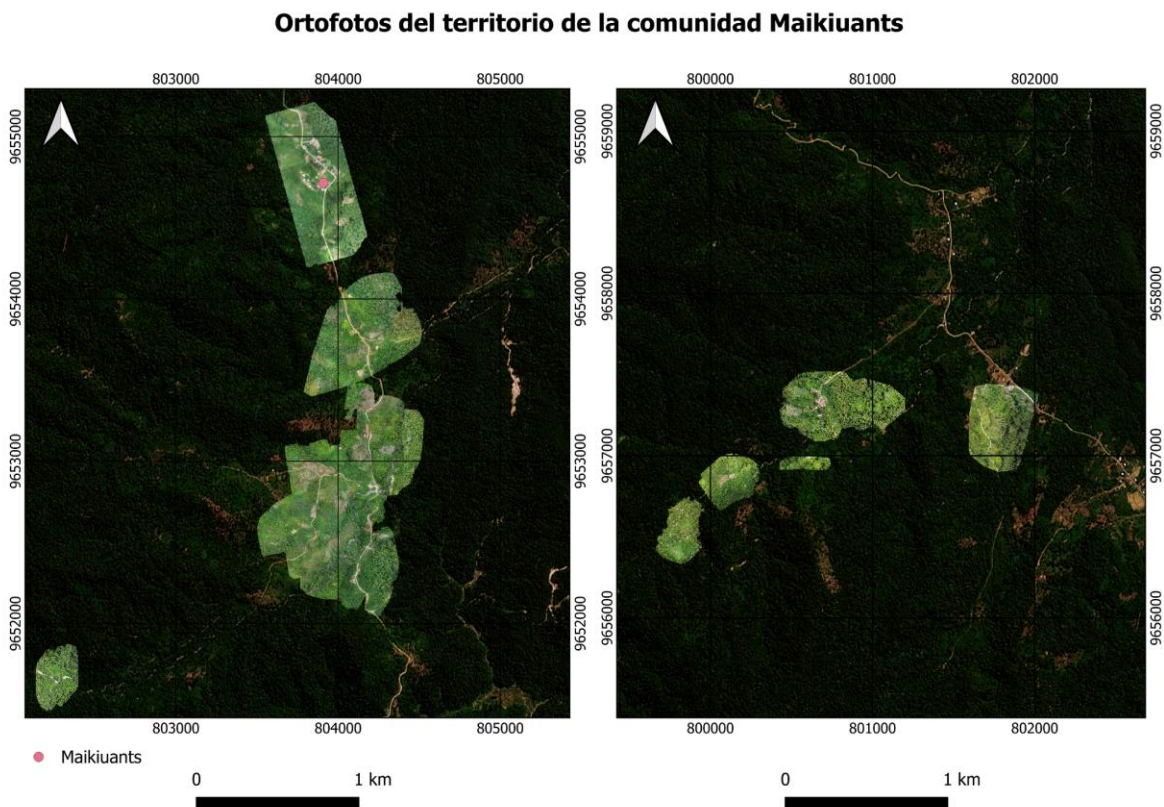
### 3.4 Verificación de coberturas en campo y apoyo con ortofotos de dron

La verificación en campo y el análisis visual de las ortofotos de dron permitieron contrastar los resultados preliminares de clasificación con las condiciones observadas en el territorio. Esta revisión confirmó la presencia de las principales categorías de cobertura y uso del suelo

definidas para Maikiuants: conservación estricta, bajo uso, uso sustentable e infraestructura. Las áreas de conservación estricta estuvieron asociadas con sectores de bosque continuo, mientras que el bajo uso se relacionó con zonas de vegetación secundaria o áreas con intervención reducida. Por su parte, el uso sustentable se observó principalmente en espacios vinculados con ajas, mosaicos agroforestales y áreas de aprovechamiento local, mientras que la infraestructura correspondió a caminos, construcciones y superficies abiertas.

Las ortofotos sirvieron como apoyo visual para interpretar sectores específicos donde la imagen satelital presentaba dificultad para diferenciar coberturas con características similares. Esto fue particularmente útil en zonas de transición entre bosque, bajo uso y uso sustentable, así como en áreas donde se identificaron caminos o claros de pequeña extensión. Aunque las ortofotos no cubrieron la totalidad del territorio comunitario, su distribución permitió revisar áreas puntuales y complementar la interpretación espacial de las coberturas antes de la elaboración del mapa final integrado.

**Mapa 5.** *Distribución espacial de las ortofotos obtenidas mediante vuelos de dron como apoyo para la verificación de coberturas en la comunidad de Maikiuants.*



**Sistema de coordenadas:** UTM Zona 17S  
**Datum:** WGS84

**Fuente:** Elaboración propia (2026)

### 3.5. Mapa final integrado de cobertura y uso del suelo

A partir de la integración de la clasificación supervisada y no supervisada, y considerando la información obtenida durante la verificación en campo y el análisis visual de ortofotos de dron, se obtuvo el mapa final de cobertura y uso del suelo de la comunidad de Maikiuants. Este producto permitió complementar la representación de las categorías previamente identificadas e incorporar la clase de bajo uso, la cual no fue delimitada adecuadamente en la clasificación supervisada. La capa final permitió estimar la superficie ocupada por cada categoría dentro del territorio comunitario, cuyos valores se presentan en la Tabla 5.

**Tabla 5.** Superficie por categoría de uso del suelo en la comunidad de Maikiuants

Categoría	Área (ha)	Porcentaje (%)
Conservación estricta	8.363,22	91,64%
Bajo uso	268,61	2,94%
Uso sustentable	446,57	4,89%
Infraestructura	34,13	0,37%
Sin información	13,32	0,16%
<b>Total</b>	<b>9.125,86</b>	<b>100%</b>

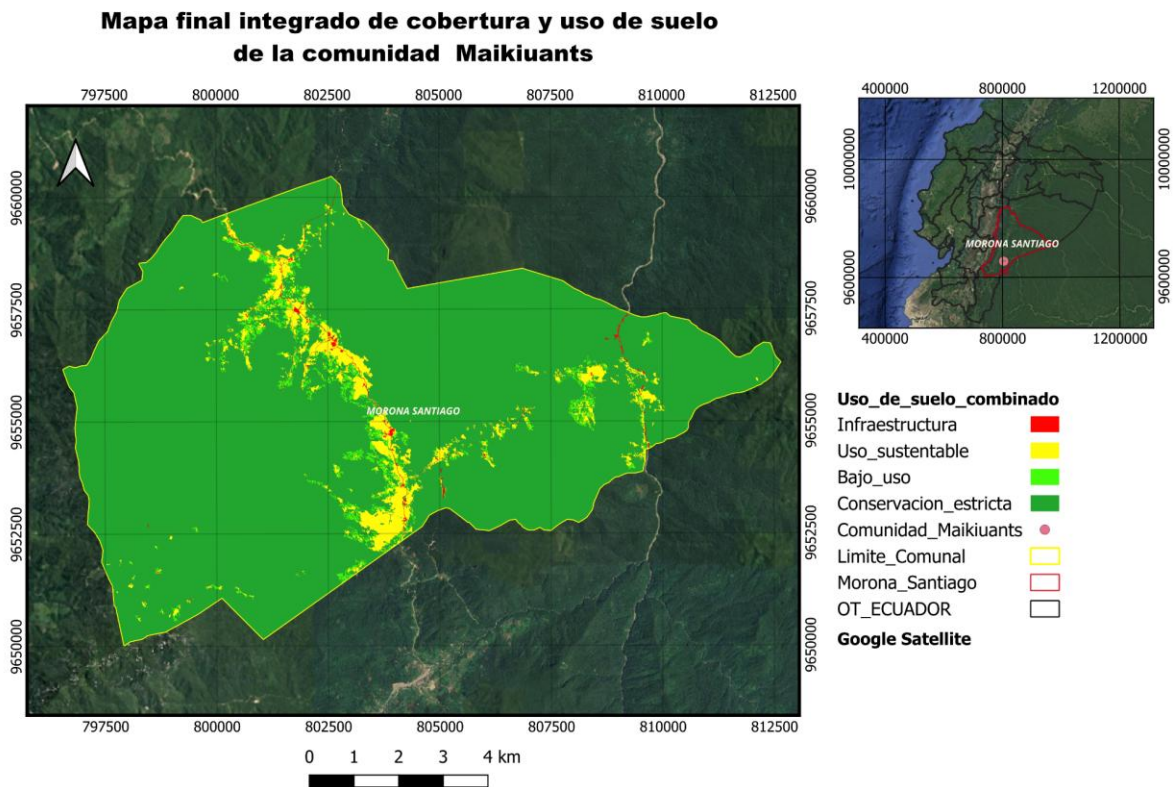
**Fuente:** Elaboración propia (2026)

Los resultados muestran que la categoría de conservación estricta ocupa la mayor parte del territorio comunitario, con 8.363,22 ha, equivalente al 91,64 % del área total analizada. Esto indica que Maikiuants mantiene una amplia cobertura asociada a zonas de bosque y áreas con baja intervención. En contraste, las categorías vinculadas con usos antrópicos presentan superficies reducidas. El uso sustentable ocupa 446,57 ha (4,89 %), mientras que la categoría de bajo uso representa 268,61 ha (2,94 %). La infraestructura corresponde a la menor superficie clasificada, con 34,13 ha (0,37 %), lo que evidencia una ocupación territorial limitada en comparación con las áreas de conservación.

La distribución espacial observada en el Mapa 6 muestra que las áreas de uso sustentable, bajo uso e infraestructura se concentran principalmente en sectores específicos del territorio, mientras que la conservación estricta domina de manera continua en la mayor parte de la comunidad. La categoría sin información representa apenas 13,32 ha (0,16 %), por lo que su influencia sobre la interpretación general del uso del suelo es baja. Sin embargo, se mantuvo

dentro de la tabla para transparentar las áreas que no pudieron ser clasificadas dentro de las categorías principales.

**Mapa 6.** *Mapa final integrado de cobertura y uso del suelo de la comunidad de Maikiuants*



**Sistema de coordenadas:** UTM Zona 17S

**Datum:** WGS84

**Fuente:** Elaboración propia (2026)

### 3.6 Caracterización de especies por tipo de uso de suelo

Con el fin de complementar la interpretación espacial de las categorías de cobertura y uso del suelo identificadas en Maikiuants, se elaboraron listas de especies vegetales representativas para las áreas de conservación estricta, bajo uso y uso sustentable. Esta caracterización permitió relacionar las unidades cartográficas obtenidas mediante teledetección con la composición vegetal observada o registrada para cada tipo de cobertura.

A partir de los registros obtenidos y de la información recopilada para cada categoría de cobertura y uso del suelo, se identificaron diferencias en la composición de especies entre las tres coberturas analizadas.

Las áreas de conservación estricta, correspondientes principalmente a bosque nativo, presentan una predominancia de especies arbóreas propias de bosques húmedos tropicales, acompañadas por diversas palmas y especies herbáceas del sotobosque. Entre las especies registradas destacan pambil (*Iriartea deltoidea*), palma (*Wettinia aequatorialis*), manzano colorado (*Guarea macrophylla*), zapotillo (*Pouteria reticulata*) y pitón (*Grias peruviana*), las cuales son representativas de bosques amazónicos siempreverdes conservados.

En las áreas clasificadas como bajo uso, asociadas principalmente a bosques secundarios, se registró una combinación de especies arbóreas, arbustivas y herbáceas que reflejan procesos de regeneración natural de la vegetación. En estas zonas aparecen especies como reventillo (*Alchornea triplinervia*), matico (*Piper aduncum*), guaba (*Inga edulis*), limoncillo (*Siparuna grandiflora*) y palo de fósforo (*Schefflera morototoni*), que suelen encontrarse en ambientes donde el bosque se encuentra en recuperación.

Por su parte, las áreas de uso sustentable, que incluyen fincas y huertos manejados por la comunidad, presentan una mayor presencia de especies cultivadas o utilizadas con fines alimenticios, medicinales y culturales. Entre ellas se encuentran especies como yuca (*Manihot esculenta*), plátano (*Musa sp.*), piña (*Ananas comosus*), jengibre (*Zingiber officinale*), papaya (*Carica papaya*), limón (*Citrus limon*), ají (*Capsicum chinense*), achiote (*Bixa orellana*) y guayusa (*Ilex guayusa*), que forman parte de los sistemas productivos y agroforestales tradicionales presentes en el territorio.

En conjunto, la caracterización vegetal complementa el mapa final de cobertura y uso del suelo, ya que muestra que las categorías cartografiadas presentan diferencias no solo en su distribución espacial, sino también en la composición y forma de vida de las especies registradas. Los listados completos de especies registradas para cada categoría de cobertura y uso del suelo se presentan en los anexos.

#### 4. Discusión

Los resultados obtenidos evidencian que el territorio de la comunidad de Maikiuants mantiene una matriz predominantemente boscosa, representada principalmente por la categoría de conservación estricta. Esta categoría ocupó el 91,64 % del área total en el mapa final integrado, mientras que las áreas asociadas con uso sustentable, bajo uso e infraestructura presentaron superficies considerablemente menores. Este patrón indica que, dentro del territorio comunitario, las zonas de intervención directa se concentran en sectores específicos, mientras que la mayor parte del espacio mantiene coberturas asociadas con bosque nativo o áreas de baja transformación.

La presencia de cuatro tipos de ecosistemas dentro del área de estudio también permite interpretar a Maikiuants como un territorio ecológicamente heterogéneo. La identificación de bosques siempreverdes piemontanos, bosques sobre mesetas de arenisca, bosques montanos bajos y bosques montanos refleja la influencia de gradientes altitudinales, cambios topográficos y variaciones en los sustratos dentro de la Cordillera del Cóndor (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2013; MAE, 2023). Esta condición ayuda a explicar la alta variabilidad espectral observada en la clasificación no supervisada, ya que la respuesta de la vegetación no corresponde a una cobertura homogénea, sino a un mosaico de formaciones boscosas con diferencias estructurales y ecológicas.

En este sentido, la clasificación no supervisada resultó útil como una primera aproximación para reconocer la variabilidad espectral del territorio. El uso de un número amplio de clases permitió captar diferencias internas dentro de la cobertura boscosa y separar patrones asociados con bajo uso, uso sustentable e infraestructura. Sin embargo, la interpretación de estas clases dependió de su contraste con información temática, observaciones de campo y ortofotos de dron, debido a que los grupos espectrales generados por K-means no representan por sí mismos categorías ecológicas o territoriales definitivas. Por ello, la clasificación no supervisada funcionó mejor como una herramienta exploratoria e interpretativa que como un producto final aislado (Curatola Fernández et al., 2015).

La clasificación supervisada basada en segmentos aportó una delimitación inicial de categorías generales; no obstante, presentó limitaciones para diferenciar conservación estricta y bajo uso. Esta dificultad se relaciona con el uso de la composición RGB, ya que las bandas visibles permiten una interpretación visual clara, pero tienen menor capacidad para discriminar

diferencias estructurales o sucesionales de la vegetación en comparación con el uso de bandas multiespectrales completas. En áreas tropicales con alta continuidad de dosel, las zonas de bosque nativo y vegetación secundaria pueden presentar respuestas visuales similares, lo que explica la necesidad de agrupar inicialmente estas coberturas en una clase general de conservación o cobertura vegetal (Rwanga & Ndambuki, 2017).

La integración de la clasificación supervisada y no supervisada permitió compensar parcialmente estas limitaciones. Mientras la clasificación supervisada aportó una delimitación más clara de áreas abiertas, infraestructura y zonas de uso sustentable, la clasificación no supervisada permitió recuperar la categoría de bajo uso, que no había sido representada adecuadamente en el modelo supervisado (Rozenstein & Karnieli, 2011). Además, la incorporación de la verificación en campo y el análisis visual de ortofotos permitió revisar sectores donde las coberturas presentaban similitudes espectrales o cambios recientes (Bendix et al., 2020). Este proceso explica que la categoría sin información se redujera de 138,85 ha en la clasificación no supervisada a 13,32 ha en el mapa final integrado, mostrando una mejora en la coherencia espacial del producto final.

La caracterización vegetal complementó la interpretación cartográfica, al mostrar que las categorías identificadas presentan diferencias en composición y formas de vida. Las áreas de conservación estricta estuvieron asociadas con especies arbóreas y palmas propias de bosque nativo, mientras que las zonas de bajo uso presentaron una combinación de especies arbóreas, arbustivas y herbáceas vinculadas con procesos de regeneración. Por su parte, el uso sustentable se relacionó con especies cultivadas, manejadas o utilizadas por la comunidad, lo que evidencia que esta categoría no representa únicamente intervención, sino sistemas productivos tradicionales vinculados con ajas, huertos y mosaicos agroforestales. Esta relación entre cobertura cartográfica y composición vegetal fortalece la interpretación ecológica del mapa final (Delgado-Aguilar, 2019; IIED, 2017).

Desde una perspectiva territorial, el uso de categorías definidas a partir del Plan de Vida del Pueblo Shuar Arutam y de referencias nacionales de cobertura y uso de la tierra permitió vincular la clasificación espacial con criterios comunitarios de manejo. Esto resulta relevante porque el producto cartográfico no solo describe coberturas desde una perspectiva técnica, sino que también representa formas locales de uso, conservación y aprovechamiento del territorio. En este sentido, el mapa final puede servir como insumo para procesos de planificación

comunitaria, monitoreo de cambios en la cobertura vegetal y fortalecimiento de estrategias de conservación frente a presiones externas.

No obstante, el estudio presenta limitaciones que deben considerarse. La clasificación supervisada se realizó a partir de una imagen RGB, lo que redujo la capacidad de discriminación entre coberturas vegetales similares. Además, las ortofotos de dron no cubrieron la totalidad del territorio comunitario, por lo que su uso fue complementario y no equivalente a un levantamiento fotogramétrico sistemático. A esto se suma que la caracterización vegetal directa se concentró principalmente en áreas de conservación estricta, mientras que para bajo uso y uso sustentable se recurrió a información complementaria disponible para el territorio. Por ello, futuras investigaciones podrían incorporar todas las bandas multiespectrales disponibles, índices de vegetación, una validación estadística con puntos independientes y vuelos de dron planificados para mejorar la comparabilidad espacial.

En conjunto, los resultados muestran que la integración de clasificación supervisada, clasificación no supervisada, verificación en campo, ortofotos de dron y conocimiento territorial constituye una estrategia adecuada para caracterizar coberturas en paisajes amazónicos heterogéneos. Para Maikiuants, este enfoque permitió generar una representación espacial más coherente de las categorías de cobertura y uso del suelo, evidenciando el predominio de áreas de conservación estricta y la presencia localizada de usos comunitarios y zonas intervenidas.

## 5. Lista de referencias

- Almendáriz, A., Yáñez-Muñoz, M. H., & Carvajal-Endara, S. (2014). Herpetofauna de la Cordillera del Cóndor. Museo de Zoología QCAZ.
- Bendix, J., Trachte, K., Fries, A., Rollenbeck, R., & Emck, P. (2020). UAV-based analysis of canopy structures in rainforest areas in Ecuador and Brazil. *Remote Sensing of Environment*, 242, 111782. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111782>
- Camacho, C. O., Jara, N. E., & González, J. L. (2022). Análisis multitemporal de la deforestación y cambio de la cobertura del suelo en Morona Santiago. *Polo del Conocimiento*, 7(1), 797–807.
- Curatola Fernández, G., Bastidas, J., Mena, C., & Lessmann, J. (2015). Integrando información ecológica y social para el monitoreo ambiental participativo en la Amazonía ecuatoriana. *Revista Amazónica: Ciencia y Tecnología*, 4(2), 45–60. <https://doi.org/10.18272/amazoniacyt.v4i2.123>
- Delgado-Aguilar, M. J. (2019). Los pueblos indígenas y el territorio: Perspectivas de gobernanza ambiental en la Amazonía ecuatoriana. *Revista de Estudios Amazónicos*, 8(1), 75–92. <https://doi.org/10.32719/26312549.2019.8.1>
- Delgado-Aguilar, M. J., Konold, W., & Schmitt, C. B. (2019). Community mapping of ecosystem services in tropical rainforest: A case study in Sumaco, Ecuador. *Ecosystem Services*, 38, 100955. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2019.100955>
- Fundación Natura. (2010). Plan de manejo del territorio del Pueblo Shuar Arutam. Fundación Natura; Pueblo Shuar Arutam.
- GAD Limón Indanza. (2023). Plan de desarrollo y ordenamiento territorial 2024–2036. GAD Municipal de Limón Indanza.
- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Santiago de Méndez. (2021). Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del cantón Santiago de Méndez 2021–2035. PDOT Santiago de Méndez.
- Helmer, E. H., Ruzycki, T. S., Benner, J., Voggeser, S. M., Scobie, B. P., Park, C., Fanning, D. W., & Ramnarine, S. (2012). Detailed maps of tropical forest types are within

reach: Forest tree communities for Trinidad and Tobago mapped with multiseason Landsat and multiseason fine-resolution imagery. *Forest Ecology and Management*, 279, 147–166. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.05.016>

Instituto Internacional para el Medio Ambiente y el Desarrollo. (2016). *Territorios en transformación: Cartografía participativa y gestión comunitaria del paisaje amazónico*. IIED.

Instituto Internacional para el Medio Ambiente y el Desarrollo. (2017). *Local perception of territorial reality through community mapping: Seis de Julio Community*. IIED.

Kerry, R. G., Perez Montalbo, F. J., Das, R., Patra, S., Mahapatra, G. P., Maurya, G. K., Nayak, V., Jena, A. B., Ukhurebor, K. E., Jena, R. C., Gouda, S., & Majhi, S. (2022). An overview of remote monitoring methods in biodiversity conservation. *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 80179–80221. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-23242-y>

Kingman, S., Peñaherrera, P., & Samaniego, R. (2010). *Territorio, bosques y cultura en la Cordillera del Cóndor* (1.<sup>a</sup> ed.). Fundación Natura.

Lausch, A., Selsam, P., Pause, M., & Bumberger, J. (2024). Monitoring vegetation and geodiversity with remote sensing and traits. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 382(2269), 20230058. <https://doi.org/10.1098/rsta.2023.0058>

Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2013). *Sistema de clasificación de los ecosistemas del Ecuador continental*. Subsecretaría de Patrimonio Natural.

Ministerio del Ambiente y Energía. (2013). *Mapa de los ecosistemas del Ecuador continental [Conjunto de datos geográficos, escala 1:100.000]*. IDE Ambiente. <https://ide.ambiente.gob.ec/mapainteractivo/>

Ministerio del Ambiente y Energía. (2023). *Mapa de cobertura y uso de la tierra (CUT 2022) [Conjunto de datos geográficos]*. IDE Ambiente. <https://ide.ambiente.gob.ec/mapainteractivo/>

Neill, D. A. (Ed.). (1997). *A rapid biological assessment of the Cordillera del Cóndor Region of Ecuador and Peru (RAP Working Papers 7)*. Conservation International.

- Ranglong, A., Dutta Roy, A., Das, S., & Deb, S. (2025). *Estimating aboveground biomass and biodiversity of a protected area in moist tropical forest ecosystem using remote sensing application*. *Journal for Nature Conservation*, 84, 126823.  
<https://doi.org/10.1016/j.jnc.2024.126823>
- Rozenstein, O., & Karnieli, A. (2011). Comparison of methods for land-use classification incorporating remote sensing and GIS inputs. *Applied Geography*, 31(2), 533–544.  
<https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2010.11.006>
- Rwanga, S. S., & Ndambuki, J. M. (2017). Accuracy assessment of land use/land cover classification using remote sensing and GIS. *International Journal of Geosciences*, 8, 611–622. <https://doi.org/10.4236/ijg.2017.84033>
- Sabiduría Shuar. (2012). *Sabiduría de la cultura Shuar: Cosmovisión, territorio y vida*. Ministerio de Educación.
- Sawko, A. (2025). *Recentering Indigenous rights and knowledge to protect Shuar territory: Ethnobotany, biocultural mapping, and the rights of nature in the Ecuadorian Amazon* Global Biodiversity Conservation MSc.
- Shuar AJA. (2015). *Saberes y prácticas ancestrales del Aja Shuar*. Federación Interprovincial de Centros Shuar.
- Wang, R., & Gamon, J. A. (2019). Remote sensing of terrestrial plant biodiversity. *Remote Sensing of Environment*, 231, 111218. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111218>
- Yépez, A., Fernández, A., Ruales, G., & Murillo, D. (2018). *Estudio de caso-versión borrador: Pueblo Shuar Arutam*. Fundación ALDEA.

## 6. Anexos

**Anexo 1.** *Tabla de especies registradas en áreas de conservación estricta (bosque primario)*

<b>Especie</b>	<b>Familia</b>	<b>Forma de vida</b>
<i>Calophyllum brasiliense</i>	Calophyllaceae	Árbol
<i>Cecropia peltata</i>	Urticaceae	Árbol
<i>Clarisia racemosa</i>	Moraceae	Árbol
<i>Croton lechleri</i>	Euphorbiaceae	Árbol
<i>Dacryodes sp.</i>	Burseraceae	Árbol
<i>Grias peruviana</i>	Lecythidaceae	Árbol
<i>Guarea macrophylla</i>	Meliaceae	Árbol
<i>Inga edulis</i>	Fabaceae	Árbol
<i>Inga multicaulis</i>	Fabaceae	Árbol
<i>Metteniusa tessmanniana</i>	Metteniusaceae	Árbol
<i>Ocotea javitensis</i>	Lauraceae	Árbol
<i>Otoba glycyarpa</i>	Myristicaceae	Árbol
<i>Pourouma cecropiifolia</i>	Urticaceae	Árbol
<i>Pourouma guianensis</i>	Urticaceae	Árbol
<i>Pouteria reticulata</i>	Sapotaceae	Árbol
<i>Triplaris moyobambensis</i>	Polygonaceae	Árbol
<i>Trattinnickia peruviana</i>	Burseraceae	Árbol
<i>Guatteria megalophylla</i>	Annonaceae	Árbol
<i>Garcinia macrophylla</i>	Clusiaceae	Árbol
<i>Iriartea deltoidea</i>	Arecaceae	Palma
<i>Prestoea schultzeana</i>	Arecaceae	Palma
<i>Prestoea ensiformis</i>	Arecaceae	Palma
<i>Euterpe precatória</i>	Arecaceae	Palma
<i>Pholidostachys synanthera</i>	Arecaceae	Palma
<i>Wettinia maynensis</i>	Arecaceae	Palma
<i>Wettinia aequalis</i>	Arecaceae	Palma
<i>Wettinia aequatorialis</i>	Arecaceae	Palma
<i>Piper immutatum</i>	Piperaceae	Arbusto
<i>Piper obtusilimum</i>	Piperaceae	Arbusto

<i>Piper truman-yunckeri</i>	Piperaceae	Arbusto
<i>Siparuna grandiflora</i>	Siparunaceae	Arbusto
<i>Maieta guianensis</i>	Melastomataceae	Arbusto
<i>Anthurium subandinum</i>	Araceae	Herbácea
<i>Syngonium podophyllum</i>	Araceae	Herbácea
<i>Costus amazonicus</i>	Costaceae	Herbácea
<i>Cyclanthus bipartitus</i>	Cyclanthaceae	Herbácea
<i>Renealmia sp.</i>	Zingiberaceae	Herbácea
<i>Diffenbachia harlingii</i>	Araceae	Herbácea
<i>Tillandsia spp.</i>	Bromeliaceae	Epífita
<i>Tillandsia rhodosticta</i>	Bromeliaceae	Epífita

Fuente: Elaboración propia

**Anexo 2.** Tabla de especies registradas en áreas de bajo uso (bosque secundario)

Especie	Familia	Forma de vida
<i>Calathea altissima</i>	Marantaceae	Herbácea
<i>Maieta guianensis</i>	Melastomataceae	Arbusto
<i>Tillandsia spp.</i>	Bromeliaceae	Epífita
<i>Otoba glycyarpa</i>	Myristicaceae	Árbol
<i>Inga multicaulis</i>	Fabaceae	Árbol
<i>Pourouma cecropiifolia</i>	Urticaceae	Árbol
<i>Anthurium sp.</i>	Araceae	Herbácea
<i>Tillandsia rhodosticta</i>	Bromeliaceae	Epífita
<i>Wettinia maynensis</i>	Arecaceae	Palma
<i>Guatteria megalophylla</i>	Annonaceae	Árbol
<i>Piper obtusilimum</i>	Piperaceae	Arbusto
<i>Pholidostachys synanthera</i>	Arecaceae	Palma
<i>Guatteria ecuadorensis</i>	Annonaceae	Árbol
<i>Piper immutatum</i>	Piperaceae	Arbusto
<i>Scleria neogranatensis</i>	Cyperaceae	Herbácea
<i>Anthurium giganteum</i>	Araceae	Herbácea
<i>Piper maxonii</i>	Piperaceae	Arbusto
<i>Renealmia sp.</i>	Zingiberaceae	Herbácea
<i>Cyclanthus bipartitus</i>	Cyclanthaceae	Herbácea

<i>Costus amazonicus</i>	Costaceae	Herbácea
<i>Piper aduncum</i>	Piperaceae	Arbusto
<i>Diffenbachia harlingii</i>	Araceae	Herbácea
<i>Alchornea triplinervia</i>	Euphorbiaceae	Árbol
<i>Caladium bicolor</i>	Araceae	Herbácea
<i>Schefflera morototoni</i>	Araliaceae	Árbol
<i>Bactris gasipaes</i>	Arecaceae	Palma
<i>Bixa arborea</i>	Bixaceae	Árbol
<i>Inga edulis</i>	Fabaceae	Árbol
<i>Pourouma minor</i>	Urticaceae	Árbol
<i>Pourouma sp.</i>	Urticaceae	Árbol
<i>Syngonium podophyllum</i>	Araceae	Herbácea
<i>Siparuna grandiflora</i>	Siparunaceae	Arbusto
<i>Caryodendron orinocense</i>	Euphorbiaceae	Árbol
<i>Calliandra angustifolia</i>	Fabaceae	Árbol
<i>Smilax sp.</i>	Smilacaceae	Liana
<i>Saccharum officinarum</i>	Poaceae	Herbácea

Fuente: Elaboración propia (2026)

**Anexo 3.** *Tabla de especies registradas en áreas de uso sustentable (fincas y huertos)*

<b>Especie</b>	<b>Familia</b>	<b>Forma de vida</b>
<i>Manihot esculenta</i>	Euphorbiaceae	Arbusto
<i>Musa sp.</i>	Musaceae	Herbácea
<i>Colocasia esculenta</i>	Araceae	Herbácea
<i>Allium spp.</i>	Amaryllidaceae	Herbácea
<i>Capsicum chinense</i>	Solanaceae	Arbusto
<i>Otoba glycyarpa</i>	Myristicaceae	Árbol
<i>Saccharum officinarum</i>	Poaceae	Herbácea
<i>Ipomoea batatas</i>	Convolvulaceae	Herbácea
<i>Erechtites valerianifolius</i>	Asteraceae	Herbácea
<i>Solanum quitoense</i>	Solanaceae	Arbusto
<i>Pothomorphe peltata</i>	Piperaceae	Arbusto
<i>Urera laciniata</i>	Urticaceae	Arbusto
<i>Triplaris dunganii</i>	Polygonaceae	Árbol

<i>Heliocarpus americanus</i>	Malvaceae	Árbol
<i>Calathea altissima</i>	Marantaceae	Herbácea
<i>Cissus verticulata</i>	Vitaceae	Liana
<i>Syngonium podophyllum</i>	Araceae	Herbácea
<i>Bactris gasipaes</i>	Arecaceae	Palma
<i>Vernonanthura patens</i>	Asteraceae	Arbusto
<i>Cyclanthus bipartitus</i>	Cyclanthaceae	Herbácea
<i>Pavonia leucantha</i>	Malvaceae	Arbusto
<i>Entada cf. polyphylla</i>	Fabaceae	Liana
<i>Lippia sp.</i>	Verbenaceae	Arbusto
<i>Christella dentata</i>	Thelypteridaceae	Helecho
<i>Witheringia solanoacea</i>	Solanaceae	Arbusto
<i>Pholidostachys synanthera</i>	Arecaceae	Palma
<i>Banisteriopsis caapi</i>	Malpighiaceae	Liana
<i>Trattinnickia peruviana</i>	Burseraceae	Árbol
<i>Cyperus sp.</i>	Cyperaceae	Herbácea
<i>Ananas comosus</i>	Bromeliaceae	Herbácea
<i>Bixa orellana</i>	Bixaceae	Arbusto
<i>Inga edulis</i>	Fabaceae	Árbol
<i>Lonchocarpus utilis</i>	Fabaceae	Árbol
<i>Chrysophyllum lucentifolium</i>	Sapotaceae	Árbol
<i>Erythrina amazonica</i>	Fabaceae	Árbol
<i>Phyllanthus urinaria</i>	Phyllanthaceae	Herbácea
<i>Piper obliquum</i>	Piperaceae	Arbusto
<i>Nicotiana tabacum</i>	Solanaceae	Herbácea
<i>Iresine diffusa</i>	Amaranthaceae	Herbácea
<i>Zingiber officinale</i>	Zingiberaceae	Herbácea
<i>Chenopodium sp.</i>	Amaranthaceae	Herbácea
<i>Brugmansia suaveolens</i>	Solanaceae	Arbusto
<i>Aphandra natalia</i>	Arecaceae	Palma
<i>Lippia dulcis</i>	Verbenaceae	Herbácea
<i>Mansoa alliacea</i>	Bignoniaceae	Liana
<i>Mimosa polydactyla</i>	Fabaceae	Arbusto

<i>Ocimum basilicum</i>	Lamiaceae	Herbácea
<i>Centratherum punctatum</i>	Asteraceae	Herbácea
<i>Hyptis brevipes</i>	Lamiaceae	Herbácea
<i>Cymbopogon citratus</i>	Poaceae	Herbácea
<i>Acmella ciliata</i>	Asteraceae	Herbácea
<i>Gustavia macarenensis</i>	Lecythidaceae	Árbol
<i>Renealmia alpina</i>	Zingiberaceae	Herbácea
<i>Ochroma pyramidale</i>	Malvaceae	Árbol
<i>Verbena litoralis</i>	Verbenaceae	Herbácea
<i>Coleus amboinicus</i>	Lamiaceae	Herbácea
<i>Vasconcellea monoica</i>	Caricaceae	Árbol
<i>Luffa cylindrica</i>	Cucurbitaceae	Liana
<i>Desmodium sericophyllum</i>	Fabaceae	Herbácea
<i>Scutellaria agrestis</i>	Lamiaceae	Herbácea
<i>Citrus limon</i>	Rutaceae	Árbol
<i>Crescentia cujete</i>	Bignoniaceae	Árbol
<i>Garcinia macrophylla</i>	Clusiaceae	Árbol
<i>Mauritia flexuosa</i>	Arecaceae	Palma
<i>Sechium edule</i>	Cucurbitaceae	Liana
<i>Curcuma longa</i>	Zingiberaceae	Herbácea
<i>Malachra ruderalis</i>	Malvaceae	Herbácea
<i>Physalis pubescens</i>	Solanaceae	Herbácea
<i>Solanum stramonifolium</i>	Solanaceae	Arbusto
<i>Ilex guayusa</i>	Aquifoliaceae	Árbol
<i>Psidium guajava</i>	Myrtaceae	Árbol
<i>Caladium bicolor</i>	Araceae	Herbácea
<i>Anthurium subandinum</i>	Araceae	Herbácea
<i>Carica papaya</i>	Caricaceae	Árbol

---

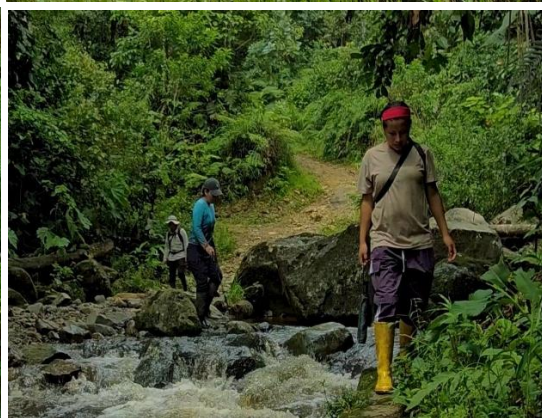
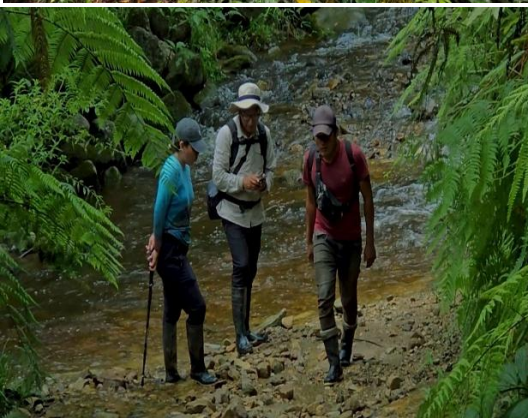
Fuente: Elaboración propia (2026)

**Anexo 4. *Transectos en campo***



**Anexo 5. Verificación de coberturas**

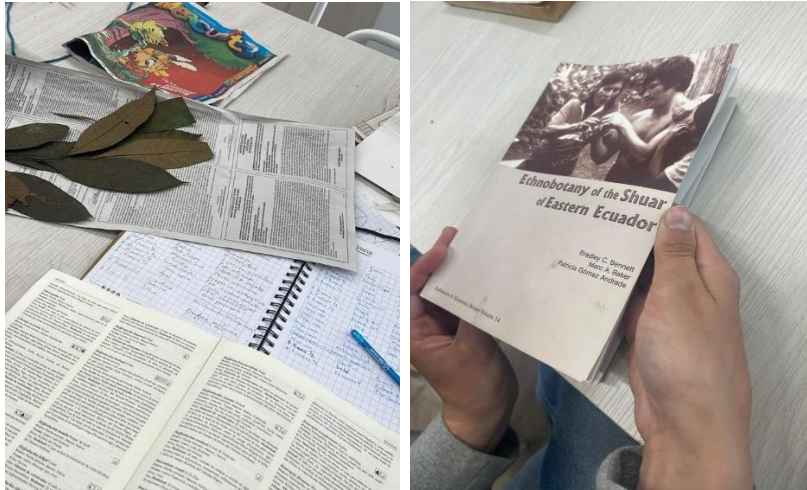




**Anexo 6. Vuelos de dron**



**Anexo 7. Identificación de especies en el herbario de la Universidad del Azuay**



**Anexo 8. Procesamiento de imágenes**

