

Documento Técnico

Estudio de identificación de áreas de plantación de bambú (*Guadua sp.*) en las regiones de Piura, Cajamarca y Amazonas mediante imágenes satelitales y procesamiento automatizado en Google Earth Engine

María Lucía Bryson Cabrera¹, Johnny Fortunato Huamani Unoc,¹ Melanie Edith Zavala Mariluz¹, Santos Raphael Paucar Cárdenas²

2025

¹ Equipo Consultor UNALM

² Organización Internacional del Bambú y el Ratán (INBAR)

© Organización Internacional del Bambú y el Ratán 2025

Esta publicación tiene licencia para su uso bajo la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 Unported (CC BY-NC-SA 4.0). Para ver esta licencia, visite: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0>

Cómo Citar

Bryson M., Huamani J., Zavala M., Paucar R. (2025). Identificación de áreas de plantación de bambú (*Guadua sp.*) en las regiones de Piura, Cajamarca y Amazonas mediante imágenes satelitales y procesamiento automatizado en Google Earth Engine. Documento Técnico INBAR. Beijing, China.

Acerca de la Organización Internacional del Bambú y el Ratán

La Organización Internacional del Bambú y el Ratán, INBAR, es una organización intergubernamental dedicada a la promoción del bambú y el ratán para el desarrollo sostenible. Para más información, por favor visite www.inbar.int.

Acerca de este documento de trabajo

Este trabajo es una publicación de INBAR producida a través del proyecto “*Innovación productiva y tecnológica del bambú en el corredor económico fronterizo del nororiente peruano - Bambú Nororiente*”, cofinanciado por el Capítulo Perú del Plan Binacional para el Desarrollo Fronterizo Perú – Ecuador, el Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR).

Organización Internacional del Bambú y el Ratán

8 Futong Dong Da Jie, Wangjing, Chaoyang District, Beijing, China

Teléfono: +86 10 64706161; Fax: +86 10 6470 2166 Correo electrónico: info@inbar.int

© 2025 Organización Internacional del Bambú y el Ratán (INBAR)

Agradecimientos

La elaboración del presente documento, titulado “*Estudio de identificación de áreas de plantación de bambú (Guadua sp.) en las regiones de Piura, Cajamarca y Amazonas mediante imágenes satelitales y procesamiento automatizado en Google Earth Engine*”, fue posible gracias al financiamiento y al acompañamiento técnico de la Oficina Regional para América Latina y el Caribe de la Organización Internacional del Bambú y el Ratán (INBAR). Este trabajo se desarrolló en el marco del proyecto “Innovación productiva y tecnológica del bambú en el corredor económico fronterizo del nororiente peruano – Bambú Nororiente”, cofinanciado por el Capítulo Perú del Plan Binacional para el Desarrollo Fronterizo Perú–Ecuador y el Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR).

Agradecemos al equipo de INBAR por su permanente disposición para proporcionar los recursos necesarios, así como por el respaldo institucional y técnico brindado durante cada etapa del estudio.

Asimismo, los autores expresan un especial agradecimiento a las personas que contribuyeron al procesamiento de la información: Enrique Arturo Huamani Córdova, Jean Pierre Antonio Gerónimo Escalante, Lissiel Bethzaida Hernández Medina. Del mismo modo, se reconoce el valioso apoyo de los profesionales y técnicos de las ATTFS de las regiones de Piura, Cajamarca y a la ARA Amazonas, cuya plena disposición y apertura al compartir su información primaria permitió ampliar las áreas de muestreo en campo y fortalecer la calidad del análisis realizado.

A todos ellos, expresamos nuestro profundo agradecimiento por su disposición, colaboración y compromiso con el desarrollo de la cadena de valor del bambú en el Perú.

Lista de Abreviaturas y Acrónimos

ATFFS	Administración Técnica Forestal y de Fauna Silvestre
ARA.	Autoridad Regional Ambiental Amazonas
DEM.	Modelos de elevación digital
EVI.	Índice Mejorado de Vegetación
GEE.	Google Earth Engine
GEDI	Dinámica Global de los Ecosistemas
GPS.	Sistema de Posicionamiento Global
INBAR.	Organización Internacional del Bambú y Ratán
NDMI.	Índice de Humedad de Diferencia Normalizada
NDVI.	Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada
NIR.	Infrarrojo Cercano
RF.	Bosque Aleatorio (Random Forest)
SAVI.	Índice de Vegetación Ajustado al Suelo
SIG.	Sistema de Información Geográfica
SNIFFS	Sistema Nacional de Información Forestal y de Fauna Silvestre
SWIR.	Infrarrojo de Onda Corta
UNALM	Universidad Nacional Agraria La Molina
UTM.	Sistema de Coordenadas Universales Transversas de Mercator
XML.	Lenguaje de Mercado Extensible

Tabla de Contenido

Lista de Abreviaturas y Acrónimos	1
Tabla de Contenido	2
Lista de Tablas	4
Lista de Mapas	4
Resumen ejecutivo	5
1. Introducción	7
2. Objetivos	8
2.1. General.....	8
2.2. Específicos.....	8
3. Metodología	9
3.1. Recopilación y procesamiento de información.....	10
3.2. Obtención de información ráster.....	11
3.3. Clasificación Supervisada.....	17
3.4. Validación.....	25
4. Análisis y diagnóstico de la zonificación de bambú	27
4.1. Departamento de Piura.....	27
4.2. Departamento de Cajamarca.....	38
4.3. Departamento de Amazonas.....	49
4.4. Caracterización de la distribución del bambú en el corredor Nororiente.....	60
5. Conclusiones	63
6. Recomendaciones	65
7. Referencias	66

Lista de Figuras

Figura 1: Diagrama de flujo del preprocesamiento de imágenes Sentinel y Landsat.....	9
Figura 2: Distribución de superficie (ha) de bambú a nivel nacional.....	10
Figura 3: Registro fotográfico del trabajo de campo y del proceso de georreferenciación de manchas y plantaciones de bambú (<i>Guadua sp.</i>).....	11
Figura 4: Índice NDVI (Verde: mayor vegetación). De izquierda a derecha: Piura, Amazonas y Cajamarca.....	13
Figura 5: Índice EVI (Azul: mayor actividad de vegetación). De izquierda a derecha: Piura, Amazonas y Cajamarca.....	13
Figura 6: Índice NDMI (Marrón a verde: mayor humedad en la vegetación). De izquierda a derecha: Piura, Amazonas y Cajamarca.....	13
Figura 7: Alturas de dosel provenientes del GEDI. De izquierda a derecha: Piura, Amazonas y Cajamarca.....	14
Figura 8: DEM para una visualización general de las áreas. De izquierda a derecha: Piura, Amazonas y Cajamarca.....	15
Figura 9: Temperatura máxima media (De verde a rojo, mayor temperatura).....	15
Figura 10: Precipitación (De blanco a azul, mayor precipitación). De izquierda a derecha: Piura, Amazonas y Cajamarca.....	16
Figura 11: Coberturas según MapBiomas, utilizado para la visualización general de las áreas de estudio. De izquierda a derecha: Piura, Amazonas y Cajamarca.....	16
Figura 12: Punto de muestreo tomado en zona de bambú cambiado a cultivo (Zona: La Florida - San Miguel - Cajamarca).....	17
Figura 13: Imagen multibanda para la provincia de Morropón - Piura.....	20
Figura 14: Valores espectrales de un pixel de bambú obtenidos con la herramienta Inspector.....	20
Figura 15: Área Ecológica probable para la provincia de Morropón - Piura.....	21
Figura 16: Clasificación supervisada del bambú (color verde claro) en la provincia de Morropón - Piura.....	23
Figura 17: Resultado de clasificación de bambú con Sentinel y Planet sobre la imagen Sentinel (imagen mediana de todo el 2024).....	24
Figura 18: Resultado de clasificación de bambú con Sentinel y Planet sobre la imagen Planet (noviembre y diciembre del 2024).....	24
Figura 19: Distribución de la superficie de bambú en las provincias de la región Piura.....	28
Figura 20: Distribución de la superficie de bambú en los distritos de la región Piura.....	28
Figura 21: Distribución del rango altitudinal en la región Piura.....	30
Figura 22: Distribución espacial del rango de precipitación en la región Piura.....	32
Figura 23: Distribución espacial de la temperatura máxima anual en la región Piura.....	32
Figura 24: Distribución de la superficie de bambú por provincia en la región Cajamarca.....	39
Figura 25: Distribución de la superficie de bambú por distrito en la región Cajamarca.....	39
Figura 26: Distribución del rango altitudinal en la región Cajamarca.....	41
Figura 27: Distribución espacial del rango de precipitación en la región Cajamarca.....	43
Figura 28: Distribución espacial de la temperatura máxima anual en la región Cajamarca.....	43
Figura 29: Distribución de la superficie de bambú por provincia en la región Amazonas.....	50
Figura 30: Distribución de la superficie de bambú por distrito en la región Amazonas.....	50
Figura 31: Distribución del rango altitudinal en la región Amazonas.....	52
Figura 32: Distribución espacial del rango de precipitación (mm) en la región Amazonas.....	54
Figura 33: Distribución espacial de la temperatura máxima anual en la región Amazonas.....	54

Lista de Tablas

Tabla 1: Características de las imágenes satelitales utilizadas en el estudio.....	12
Tabla 2: Índices de vegetación considerados para la clasificación del bambú.....	12
Tabla 3: Distribución de puntos de campo de bambú.....	17
Tabla 4: Claves de interpretación asociados a la cobertura de Bambú.....	19
Tabla 5: Puntos de muestreo empleados en el entrenamiento del clasificador Random Forest.....	22
Tabla 6: Clasificación supervisada por departamento.....	23
Tabla 7: Valoración del coeficiente Kappa.....	26
Tabla 8: Matriz de confusión para la región Piura.....	27
Tabla 9: Asociación entre clase (bambú/no bambú) y tipos de.....	35
Tabla 10: Matriz de confusión para la región Cajamarca.....	38
Tabla 11: Asociación entre clase (bambú/no bambú) y tipos de.....	46
Tabla 12: Matriz de confusión para la región Amazonas.....	49
Tabla 13: Asociación entre clase (bambú/no bambú) y tipos de cobertura (MapBiomias) en Amazonas.....	57
Tabla 14: Resumen de distribución de bambú (ha) en las regiones.....	61
Tabla 15: Caracterización del bambú en las regiones estudiadas.....	62

Lista de Mapas

Mapa 1: Distribución espacial de la base de datos en las áreas de estudio.....	18
Mapa 2: Distribución espacial de los puntos de validación.....	25
Mapa 3: Superficie de bambú identificada mediante clasificación satelital en la región Piura.....	29
Mapa 4: Variación altitudinal del territorio de la región Piura.....	31
Mapa 5: Variación espacial de la precipitación en la región Piura.....	33
Mapa 6: Variación espacial de la temperatura máxima anual en la región Piura.....	34
Mapa 7: Distribución de las áreas de bambú y otros tipos de cobertura según MapBiomias en el departamento de Piura.....	36
Mapa 8: Cobertura y uso del suelo según MapBiomias en el departamento de Piura.....	37
Mapa 9: Superficie de bambú identificada mediante clasificación satelital en la región Cajamarca.....	40
Mapa 10: Variación altitudinal del territorio de la región Cajamarca.....	42
Mapa 11: Variación espacial de la precipitación en la región Cajamarca.....	44
Mapa 12: Variación espacial de la temperatura máxima anual en la región Cajamarca.....	45
Mapa 13: Distribución de las áreas de bambú y otros tipos de cobertura según MapBiomias en el departamento de Cajamarca.....	47
Mapa 14: Cobertura y uso del suelo según MapBiomias en el departamento de Cajamarca.....	48
Mapa 15: Superficie de bambú identificada mediante clasificación satelital en la región Amazonas.....	51
Mapa 16: Variación altitudinal del territorio de la región Amazonas.....	53
Mapa 17: Variación espacial de la precipitación en la región Amazonas.....	55
Mapa 18: Variación espacial de la temperatura máxima anual en la región Amazonas.....	56
Mapa 19: Distribución de las áreas de bambú y otros tipos de cobertura según MapBiomias en el departamento de Amazonas.....	58
Mapa 20: Cobertura y uso del suelo según MapBiomias en el departamento de Amazonas.....	59

Resumen ejecutivo

A nivel mundial, el bambú se reconoce como uno de los recursos forestales no maderables de crecimiento más rápido, con aproximadamente 35 millones de hectáreas distribuidas en África, Asia, América del Sur y América Central (FAO, 2018, FAO, 2020). Se estima la existencia de 1 642 especies (Vorontsova et al., 2016), las cuales destacan por su capacidad de regeneración natural, su resistencia estructural y su bajo impacto ambiental. Estas características convierten al bambú en una materia prima versátil con aplicaciones relevantes en sectores como la construcción, la bioenergía, la artesanía y diversas industrias emergentes.

En el Perú, el bambú representa un recurso ecológico y productivo de alto potencial. Según SERFOR (2024), se registran 2 191,14 ha de plantaciones de bambú en el país, y se han identificado 100 especies a nivel nacional, de las cuales 69 son leñosas y 31 herbáceas (Ruiz, 2023). Entre ellas destaca comercialmente *Guadua aff. angustifolia*, utilizada en construcciones rurales, estructuras modulares, muebles y artesanías. Sin embargo, pese a sus ventajas comparativas, el sector bambusero nacional enfrenta limitaciones significativas debido a la escasa información cuantitativa sobre la extensión de las áreas de bambú. Contar con datos confiables es fundamental para la toma de decisiones y la formulación de políticas basadas en evidencia orientadas al manejo sostenible, la conservación, la restauración y el desarrollo económico con enfoque industrial.

El presente estudio desarrolla una metodología simple, replicable y de fácil implementación para cartografiar sistemáticamente las plantaciones de bambú en el corredor Nororiente. La propuesta integra una etapa de campo, orientada a recopilar información actualizada sobre áreas no registradas, y una etapa de gabinete basada en herramientas de computación en la nube, particularmente Google Earth Engine (GEE). Se emplean datos de libre acceso, como series temporales de Sentinel-2 y Landsat-8 (enero–diciembre 2024), información del Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), modelos globales de altura de dosel e índices de vegetación (NDVI, EVI, NDMI y SAVI), generando una base robusta para el análisis espacial.

La clasificación se llevó a cabo mediante un modelo de Bosque Aleatorio (Random Forest, RF), empleando una base de datos actualizada con variables espectrales, texturales y topográficas para la obtención de las muestras de entrenamiento, lo que permitió mejorar significativamente la precisión en la identificación de áreas con presencia de bambú.

El mapa resultante muestra que el corredor Nororiente concentra una de las mayores coberturas de bambú del país con 6 434 ha a lo largo del corredor nororiente, y revela patrones ecológicos caracterizados, en promedio, por una presencia predominante en elevaciones comprendidas entre 150 y 1 900 m.s.n.m., pendientes de 9 a 20 grados, una precipitación anual entre 400 y 1 600 mm y un rango de temperatura de 27 a 32 °C, características observadas en los departamentos de Piura, Cajamarca y Amazonas.

Los resultados demuestran la alta eficiencia de la metodología propuesta, con precisiones globales entre 88 % y 90 % y coeficientes kappa entre 0,76 y 0,78. Estos valores reflejan una sólida concordancia entre las predicciones del modelo y los datos de referencia, validando su aplicabilidad para el mapeo a gran escala y en condiciones ecológicas diversas.

Este estudio establece un marco técnico consistente para la identificación y monitoreo de plantaciones de bambú mediante sensores remotos y procesamiento en la nube, así como una base para próximos estudios de calidad de sitio con el fin de determinar áreas potenciales tanto en el corredor nororiente como en el resto del país, además, constituye una herramienta para contribuir al desarrollo de un inventario nacional de bambú.

Finalmente, su implementación puede fortalecer la gestión sostenible del recurso, mejorar las oportunidades socioeconómicas para los productores y aportar evidencia para la planificación territorial y ambiental.

1. Introducción

La teledetección y las tecnologías geoespaciales han optimizado la identificación y clasificación de coberturas vegetales al permitir el monitoreo de ecosistemas a gran escala mediante información multitemporal y de alta resolución. Estas herramientas han superado las limitaciones de los muestreos de campo tradicionales, los cuales presentan baja eficiencia en áreas extensas o de difícil acceso (Watanabe et al., 2018).

En estudios vinculados al bambú, el uso de imágenes satelitales como Landsat y Sentinel-2 ha mejorado significativamente su mapeo debido a la disponibilidad de bandas espectrales adecuadas (MINAM, 2013). Asimismo, la incorporación de índices espectrales como NDVI, EVI, NDMI y SAVI, junto con el análisis de series temporales y técnicas de aprendizaje automático, ha incrementado la precisión en la detección de esta especie al capturar variaciones fisiológicas y fenológicas relevantes (Ma et al., 2021; Yebeyena et al., 2024).

En el corredor nororiental, que abarca las regiones de Piura, Cajamarca y Amazonas, el SNIFFS reporta la existencia de 1 020 plantaciones de bambú registradas, las cuales cubren una superficie de 2 186,95 ha (SERFOR, 2024). Sin embargo, se reconoce la presencia de áreas no registradas en diversas regiones del país. En particular, en el corredor nororiental económico, la especie *Guadua aff. angustifolia* constituye un recurso estratégico, con una estimación aproximada de 2 500 ha de plantaciones comerciales (INBAR, 2023). No obstante, la ausencia de un mapeo preciso y actualizado limita la adecuada gestión del recurso y la planificación territorial.

Ante este contexto, el presente estudio tiene como objetivo cartografiar la distribución espacial de *Guadua aff. angustifolia* (Especies identificadas como *Guadua takahashiae* y *Guadua sp.* Biotipo 1) en el corredor nororiental, empleando imágenes satelitales Sentinel-2 y clasificación supervisada mediante el algoritmo Random Forest (RF) en Google Earth Engine (GEE). Esta metodología busca automatizar la actualización de mapas de cobertura, mejorar la eficiencia del procesamiento y fortalecer las capacidades técnicas locales, contribuyendo así a una gestión sostenible del bambú en el Perú.

Ante este contexto, el presente estudio tiene como objetivo cartografiar la distribución espacial de *Guadua aff. angustifolia* en el corredor nororiental, empleando imágenes satelitales Sentinel-2 y clasificación supervisada mediante el algoritmo Random Forest (RF) en Google Earth Engine (GEE). Esta metodología busca automatizar la actualización de mapas de cobertura, mejorar la eficiencia del procesamiento y fortalecer las capacidades técnicas locales, contribuyendo así a una gestión sostenible del bambú en el Perú.

2. Objetivos

2.1. General

Identificar y cartografiar la distribución de las áreas de vegetación de bambú en los departamentos de Piura, Cajamarca y Amazonas mediante clasificación supervisada de imágenes satelitales.

2.2. Específicos

- a) Georreferenciar las áreas de plantación de bambú de los beneficiarios en las regiones de Piura, Cajamarca y Amazonas, mediante la recopilación de coordenadas precisas.
- b) Uso de imágenes satelitales de mediana resolución (Landsat 8, Sentinel 2) y de alta resolución (Planet Scope) para la clasificación del bambú en los 3 departamentos.
- c) Calcular índices multiespectrales con el fin de mejorar la detección y diferenciación de las áreas de bambú.
- d) Entrenar y aplicar el algoritmo Random Forest en Google Earth Engine, para la clasificación y mapeo preciso del bambú.
- e) Determinar otros tipos de cobertura desde la plataforma del MapBiomass.
- f) Validar la información obtenida de la clasificación.

3. Metodología

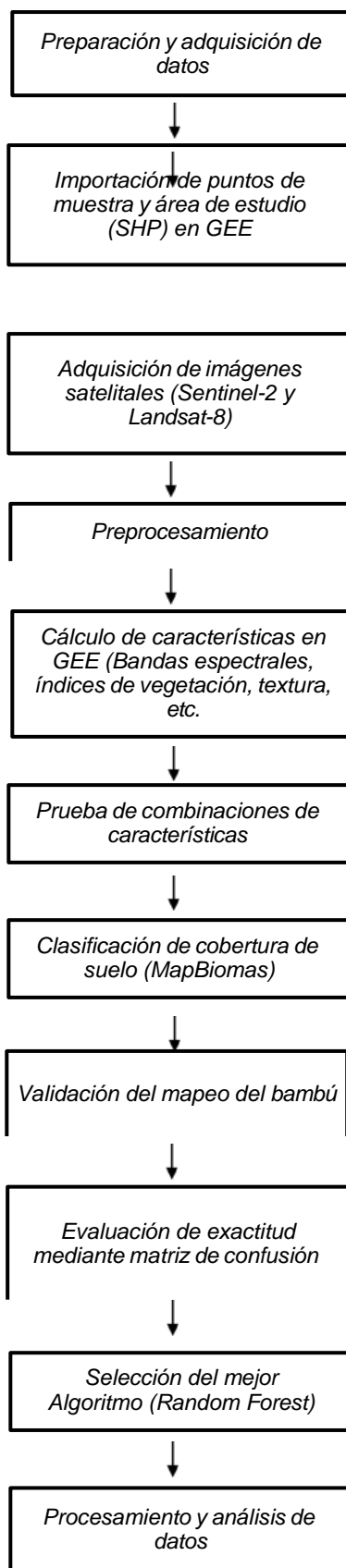


Figura 1: Diagrama de flujo del preprocesamiento de imágenes Sentinel y Landsat.

3.1. Recopilación y procesamiento de información

3.1.1. Área de estudio y recopilación de datos primarios

El estudio se desarrolló en las regiones de Piura, Cajamarca y Amazonas, seleccionadas por su alta aptitud territorial, antecedentes de producción de bambú y disponibilidad de información. Los datos primarios se obtuvieron de fuentes oficiales, principalmente del Sistema Nacional de Información Forestal y de Fauna Silvestre (SNIFFS), complementados con el registro de plantaciones elaborado por INBAR en Piura y Amazonas, en el marco del proyecto Bambú Nororiente. A partir de estas bases se extrajeron las coordenadas de referencia, las cuales fueron proyectadas en el sistema UTM, zona 17S.

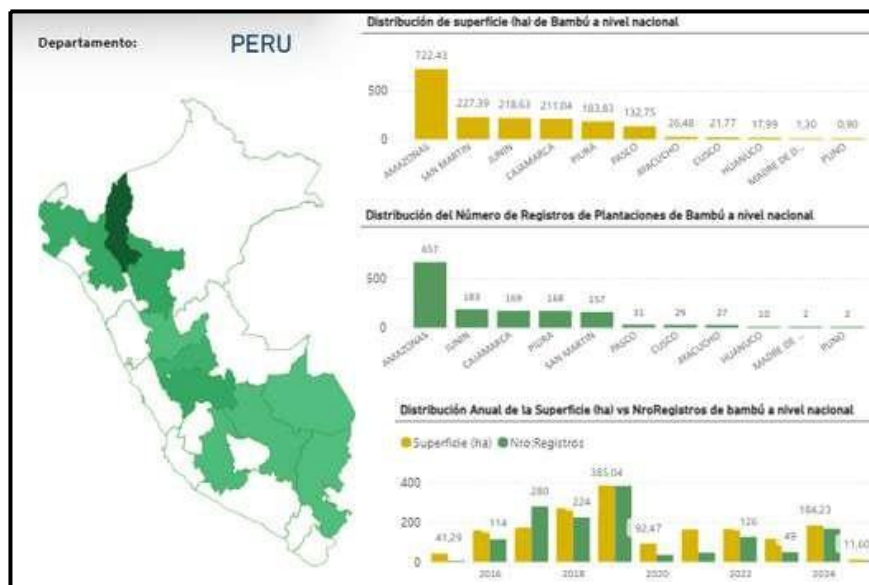


Figura 2: Distribución de superficie (ha) de bambú a nivel nacional

Fuente: Registro Nacional de plantaciones-SERFOR

3.1.2. Levantamiento de información en campo

Se realizó el levantamiento de información en manchas y plantaciones representativas de *Guadua sp.*, priorizando áreas con presencia confirmada del recurso. Los datos se recopilaron mediante GPS y fichas de campo estandarizadas (Anexo 1).

De forma complementaria, se utilizó un dron DJI Mini 3 Pro para la obtención de imágenes aéreas georreferenciadas, las cuales fueron integradas a la base de datos, permitiendo registrar información precisa en zonas de difícil acceso en las regiones de estudio (Figura 3).



Figura 3: Registro fotográfico del trabajo de campo y del proceso de georreferenciación de manchas y plantaciones de bambú (*Guadua sp.*)

3.2. Obtención de información ráster

3.2.1. Obtención de imágenes satelitales y preprocesamiento

Para el estudio a nivel departamental, se generó un script mediante la plataforma del GEE para la obtención de imágenes satelitales de mediana resolución Sentinel 2 (20 m) y Landsat 8 (30 m), con las cuales se trabajaron a una escala de 1:30 000 para la detección de bambú y con un área mínima de mapeo de 0,5 ha.

Para el estudio a nivel provincial se utilizaron imágenes de alta resolución Planet Scope de 5 m de resolución a una escala de trabajo de 1: 10 000 y un área mínima de mapeo de 0,025 ha. Las especificaciones de las imágenes se observan en la Tabla 1.

3.2.2. Obtención de índices de vegetación

Se identificarán las características espectrales que permitan detectar la presencia de bambú en la zona de estudio. Para ello, se calcularán diversos índices de vegetación basados en las bandas espectrales rojo, verde, azul e infrarrojo cercano. Entre los índices considerados se encuentran los presentados en la Tabla 2.

Tabla 1: Características de las imágenes satelitales utilizadas en el estudio

Satélite / Constelación	Resolución temporal	Bandas RGB–NIR disponibles	Resolución espacial (RGB–NIR)	Rango espectral de las bandas	Fuente	Nivel de aplicación en el estudio
PlanetScope (constelación Dove)	Diaria	Azul, Verde, Rojo, NIR	3–5 m	Azul: 455–515 nm	Planet Labs PBC – PlanetScope Product Specifications	Provincial y distrital
				Verde: 500–590 nm		
				Rojo: 590–670 nm		
				NIR: 780–860 nm		
Sentinel-2A / 2B	5 días (combinado)	Azul, Verde, Rojo, NIR	10 m	Azul (B2): 490 nm (±65)	European Space Agency – Copernicus Sentinel-2 User Handbook	Departamental
				Verde (B3): 560 nm (±35)		
				Rojo (B4): 665 nm (±30)		
				NIR (B8): 842 nm (±115)		
Landsat 8 (OLI/TIRS)	16 días	Azul, Verde, Rojo, NIR	30 m	Azul (B2): 450–510 nm	USGS / NASA – Landsat 8 (OLI/TIRS) Data Users Handbook	Departamental
				Verde (B3): 530–590 nm		
				Rojo (B4): 640–670 nm		
				NIR (B5): 850–880 nm		

Tabla 2: Índices de vegetación considerados para la clasificación del bambú

Índice	Uso	Fórmula
NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)	Evalúa la cantidad de biomasa verde, lo que permite diferenciar áreas con alta densidad de vegetación como el bambú.	$(\text{NIR} - \text{Red}) / (\text{NIR} + \text{Red})$
EVI (Enhanced Vegetation Index)	Mejora la detección en áreas de vegetación densa, corrigiendo los efectos de la atmósfera y del suelo.	$G \times (\text{NIR} - \text{Red}) / (\text{NIR} + C1 \times \text{Red} - C2 \times \text{Blue} + L)$
SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index)	Reduce la influencia del suelo en áreas donde la vegetación no es completamente densa. Puede ayudar a identificar bambú en zonas con menor cobertura vegetal.	$(\text{NIR} - \text{Red}) / (\text{NIR} + \text{Red} + L) \times (1 + L)$
NDMI (Índice de Humedad de la Vegetación)	Se calcula utilizando las bandas del infrarrojo cercano (B8) y el infrarrojo de onda corta (B11), siendo útil para detectar el contenido de humedad en la vegetación.	$(\text{NIR} - \text{SWIR}) / (\text{NIR} + \text{SWIR})$

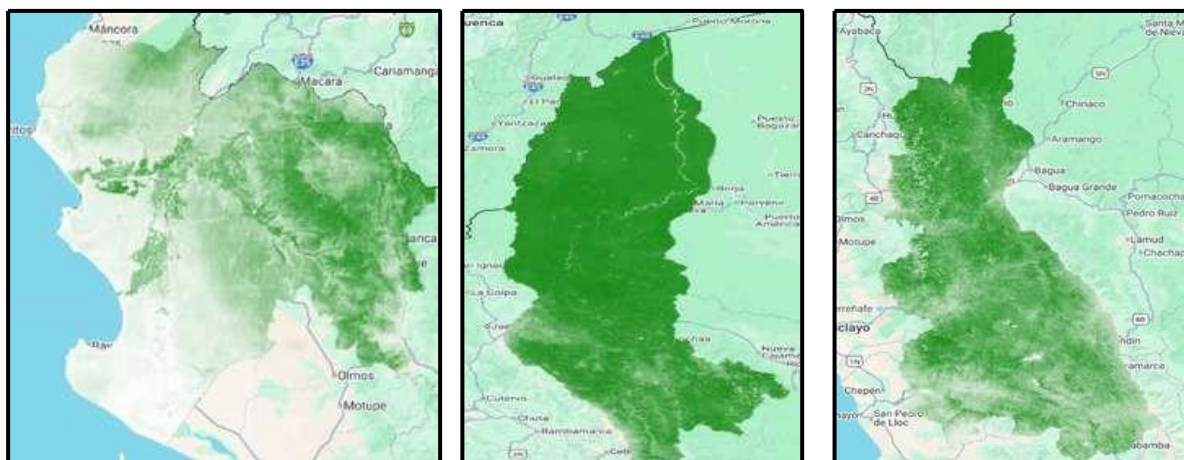


Figura 4: Índice NDVI (Verde: mayor vegetación). De izquierda a derecha: Piura, Amazonas y Cajamarca

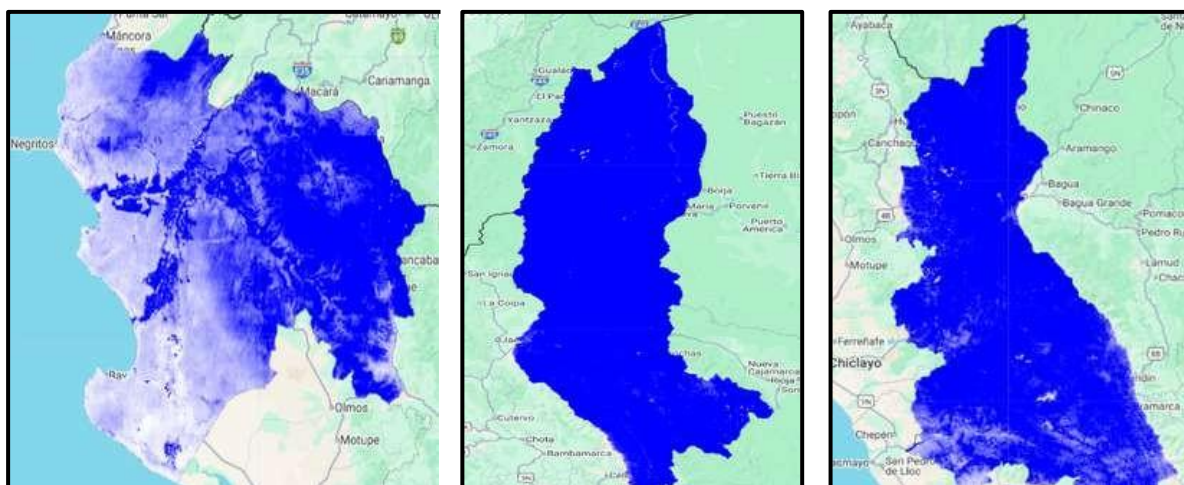


Figura 5: Índice EVI (Azul: mayor actividad de vegetación). De izquierda a derecha: Piura, Amazonas y Cajamarca

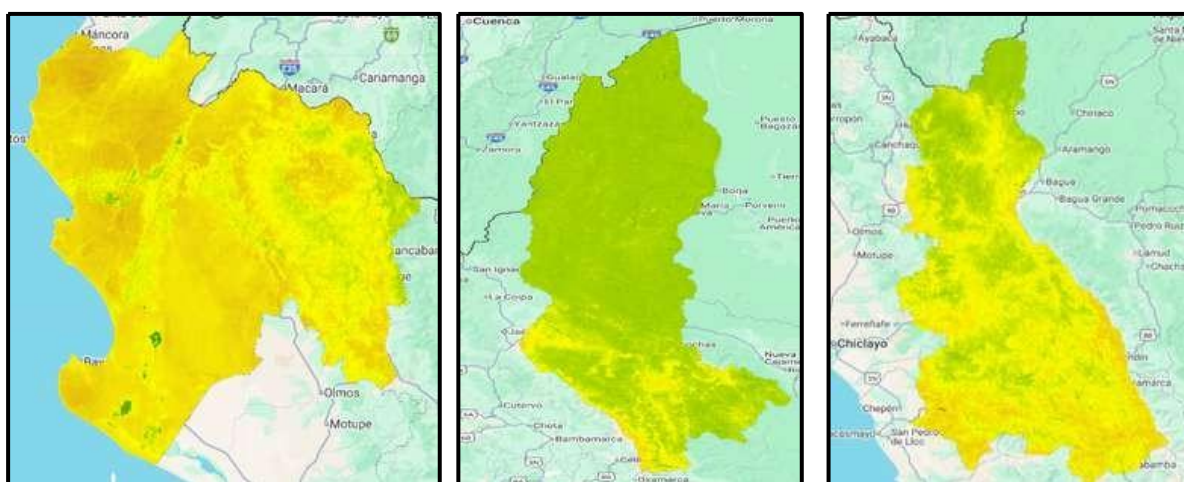


Figura 6: Índice NDMI (Marrón a verde: mayor humedad en la vegetación). De izquierda a derecha: Piura, Amazonas y Cajamarca

3.2.3. Obtención de altura de dosel

Las alturas de dosel provenientes del GEDI (Global Ecosystem Dynamics Investigation) es un sensor LIDAR de forma de onda completa instalado a bordo de la Estación Espacial Internacional (ISS), operativo desde 2019, cuyo objetivo principal es medir la estructura vertical de los bosques y mejorar las estimaciones de biomasa aérea, carbono y dinámica forestal. A diferencia de los sensores ópticos, GEDI emite pulsos láser que penetran el dosel vegetal y registran el retorno de la señal desde distintos estratos de la vegetación hasta el suelo (NASA LP DAAC, 2022).

En estudios de inventario forestal, monitoreo de degradación, estimación de biomasa y evaluación de vigor estructural, las alturas de dosel derivadas de GEDI se utilizan frecuentemente como datos de referencia o calibración, para este estudio se utilizó para mejorar la predicción del bambú en las regiones de interés, por lo que fue utilizado como parte del entrenamiento de clasificadores y clasificación supervisada.

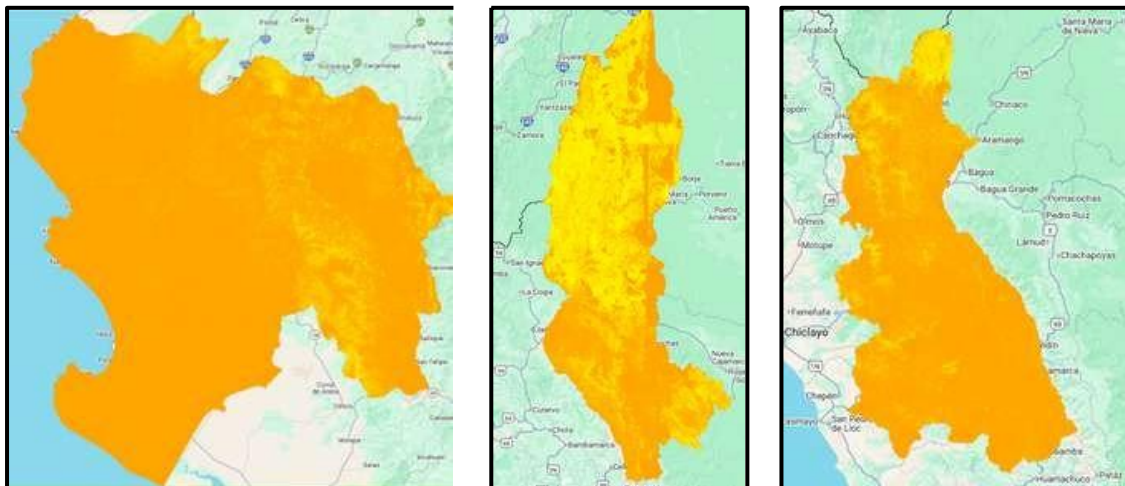


Figura 7: Alturas de dosel provenientes del GEDI. De izquierda a derecha: Piura, Amazonas y Cajamarca

3.2.4. Obtención de modelos de elevación digital

Se elaboró un Modelo Digital de Elevación (MDE) con resolución espacial de 30 m, mediante un script desarrollado en Google Earth Engine (GEE), a partir de fuentes globales como SRTM o ASTER GDEM. El análisis se restringió a áreas situadas por debajo de los 1 800 m.s.n.m., considerando que, según García (2010), *Guadua angustifolia* y especies afines presentan un desarrollo óptimo por debajo de este umbral altitudinal.

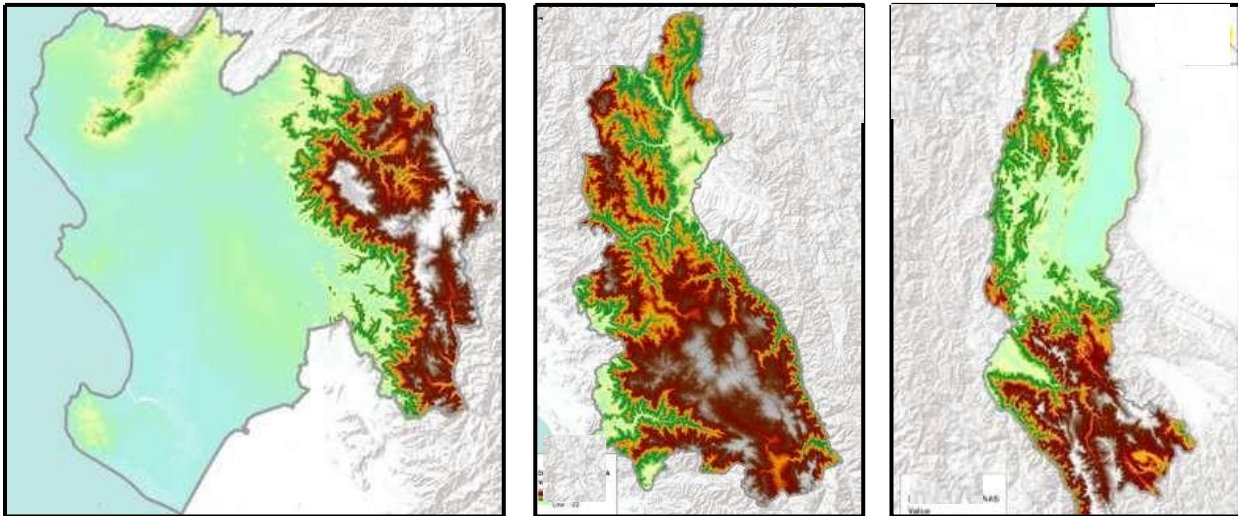


Figura 8: DEM para una visualización general de las áreas. De izquierda a derecha: Piura, Amazonas y Cajamarca

3.2.5. Obtención de precipitación y temperatura

Para caracterizar las condiciones climáticas asociadas al desarrollo del bambú en Piura, Cajamarca y Amazonas, se emplearon rásteres climáticos generados en Google Earth Engine (GEE) a partir del conjunto de datos TerraClimate. Se extrajeron los valores de precipitación total anual y temperatura media mensual máxima correspondientes al año 2024, con el fin de identificar los rangos climáticos óptimos para el cultivo de bambú.

Estos datos fueron procesados y representados espacialmente mediante mapas climáticos por región, que posteriormente se integraron al análisis multispectral para enriquecer la interpretación y clasificación de coberturas.

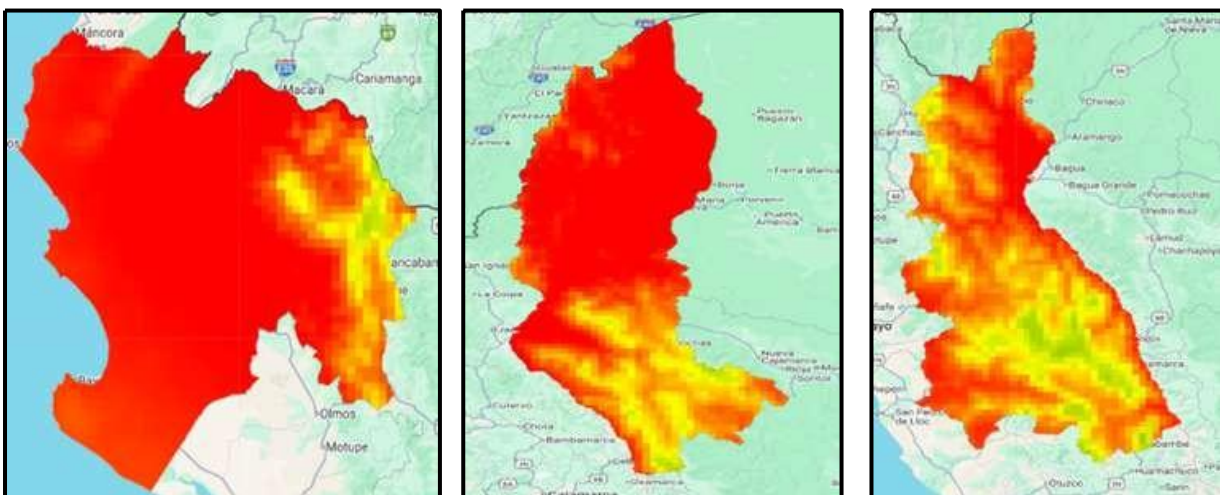


Figura 9: Temperatura máxima media (De verde a rojo, mayor temperatura)

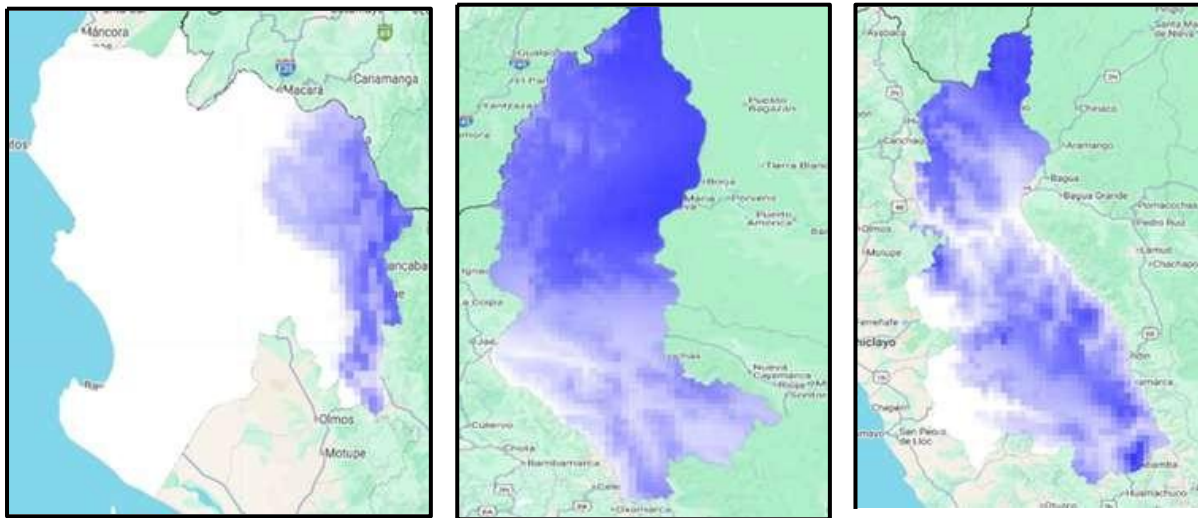


Figura 10: Precipitación (De blanco a azul, mayor precipitación). De izquierda a derecha: Piura, Amazonas y Cajamarca

3.2.6. Obtención de tipos de cobertura

La información ráster de otras coberturas de la tierra se obtuvo de la base de datos MapBiomias (Colección 2024) mediante Google Earth Engine (GEE). Se empleó la colección oficial correspondiente al año de análisis, la cual fue recortada al área de estudio y reclasificada según la leyenda oficial de MapBiomias, permitiendo identificar y caracterizar coberturas distintas al bambú.

Este procedimiento permite diferenciar y caracterizar las coberturas distintas al bambú, asegurando la trazabilidad de la información empleada y la consistencia conceptual con la clasificación oficial de MapBiomias, así como la comparabilidad con otros estudios que utilizan la misma fuente de datos.

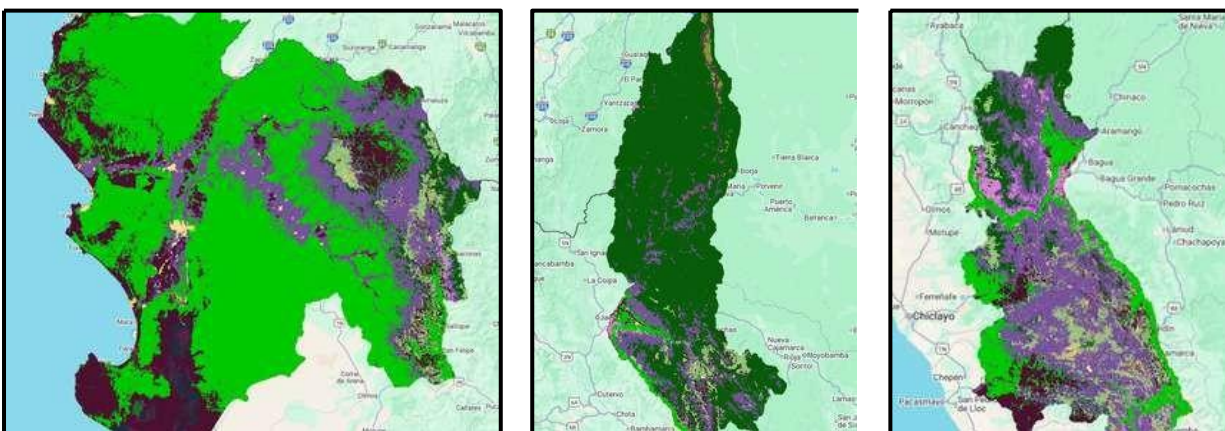


Figura 11: Coberturas según MapBiomias, utilizado para la visualización general de las áreas de estudio. De izquierda a derecha: Piura, Amazonas y Cajamarca

3.3. Clasificación Supervisada

3.3.1. Armado de base de datos

Se consolidó una base de datos geoespacial de bambú a partir de registros de las ATFFS de Cajamarca y Piura, el ARA de Amazonas y datos de campo recopilados por INBAR. La información incluye registros históricos y levantamientos realizados en 2025, alcanzando un total de 899 puntos georreferenciados: 301 en Amazonas, 312 en Cajamarca y 286 en Piura. Esta base constituye el insumo principal para los análisis espaciales del estudio.

Tabla 3: Distribución de puntos de campo de bambú

Región	Entrenamiento									Validación			Total	
	Fuente de información									Total	Fuente de información			Total
	ARA- Amazonas	ATFFS Cajamarca (2025)	ATFFS- Piura (2016)	ATFFS- Piura (2021)	ATFFS- Piura (2022)	ATFFS- Piura (2023)	ATFFS- Piura (2024)	Inbar (2da salida 2025)	Inbar (1 era salida 2025)		Inbar (2da salida 2025)	Inbar (1 era salida 2025)		
Amazonas	184	0	0	0	0	0	0	19	78	281	1	19	20	301
Cajamarca	0	35	0	0	0	0	0	74	153	262	25	25	50	312
Piura	0	0	2	3	30	23	13	0	155	226	0	60	60	286
Total	184	35	2	3	30	23	13	93	386	769	26	104	130	899

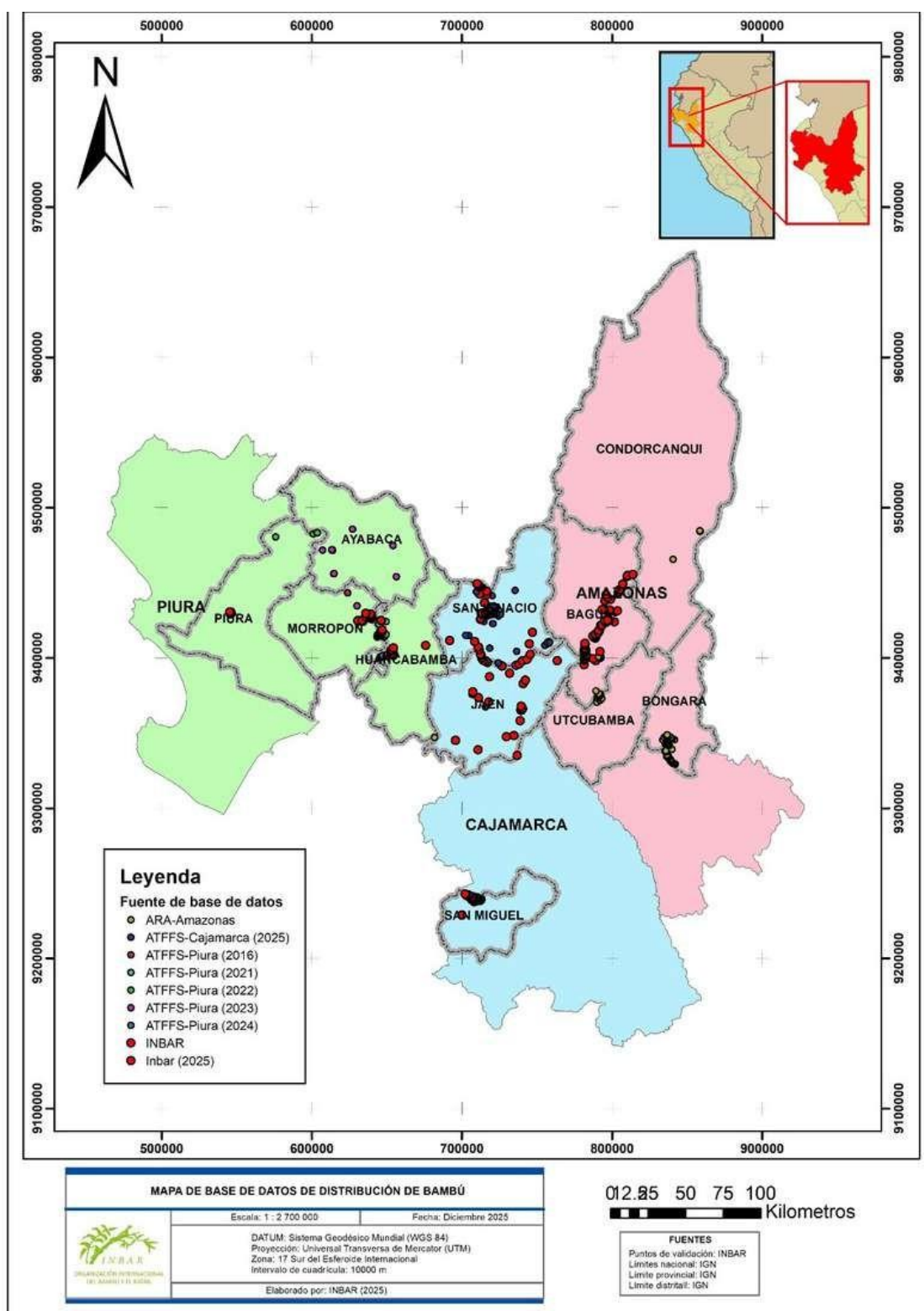
Si bien todos los puntos fueron útiles para la identificación referencial del bambú en las imágenes satelitales y para la definición de claves de interpretación, no todos fueron empleados en el entrenamiento de los clasificadores, debido a cambios de cobertura o imprecisiones espaciales en algunos registros antiguos. Los puntos seleccionados para el entrenamiento fueron cargados en Google Earth Engine (GEE) y utilizados en la etapa de clasificación.



Figura 12: Punto de muestreo tomado en zona de bambú cambiado a cultivo (Zona: La Florida - San Miguel - Cajamarca)

Asimismo, en el Mapa 1 se presentan los puntos recolectados por INBAR (en color rojo), así como aquellos provenientes de otras fuentes de información, como las ATFFS y la ARA.






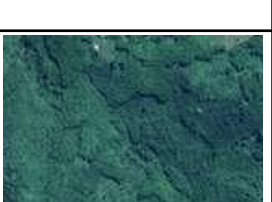




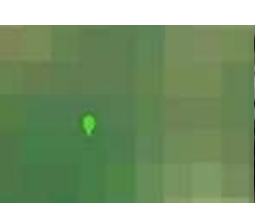
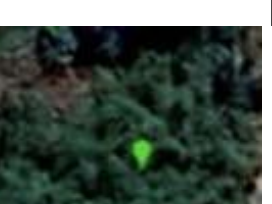






Mapa 1: Distribución espacial de la base de datos en las áreas de estudio



3.3.2. Claves de interpretación

Una vez subidos los puntos de campo seleccionados para el entrenamiento, los especialistas se familiarizaron con las características propias de la planta del bambú para cada uno de los departamentos, estas características fueron considerados para crear las claves de interpretación los cuales se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4: Claves de interpretación asociados a la cobertura de Bambú

Región	Claves de interpretación		Imagen Satelital	Imagen Google Earth
Piura	Color	Verde claro		
	Textura	Lisa-fina		
	Forma	Regular, las plantaciones de bambú son relativamente fáciles de diferenciar en relación con otras coberturas, debido al ecosistema de bosque seco y la baja densidad de vegetación, colinda sobre todo con otros cultivos.		
Cajamarca	Color	Verde claro		
	Textura	Lisa-fina		
	Forma	Regular con perímetro definido, irregular cuando transiciona hacia otros tipos de vegetación como bosques, su reconocimiento, fácil de detectar cuando se halla en plantaciones extensas, pero difícil cuando pasa a bosque.		
Amazonas	Color	Verde claro		
	Textura	Entre lisa y rugosa		
	Forma	Irregular, en general su perímetro no se encuentra definido ya que suele encontrarse asociado con bosques, en área agropecuaria el bambú se puede confundir con otras herbáceas o cultivos como cacao o plátano. Especialmente difícil por la nubosidad constante que se suele hallar en todo el departamento lo que dificulta su discriminación.		

3.3.3. Entrenamiento de clasificadores

3.3.3.1. Áreas de entrenamiento

Para el entrenamiento del modelo, se crearon áreas de interés (muestras) desde la plataforma del GEE en forma de puntos o polígonos, cada uno de ellos sirvieron como referencia espacial para 2 clases a predecir:

- Clase 1 = Bambú • Clase 2 = Bambú

Las áreas de entrenamiento de la Clase 1 (bambú) fueron tomadas en base en las claves de interpretación diseñadas a partir de los puntos de campo y otras fuentes primarias confiables.

Las áreas de entrenamiento de la Clase 2 (No Bambú) correspondieron a coberturas que no se respondían a las claves de interpretación asociadas al bambú.

3.3.3.2. Generación de la multibanda

Con el fin de optimizar la clasificación, se construyó una imagen multibanda que integró conjuntamente las variables predictoras, permitiendo al modelo analizar de forma simultánea información espectral y biofísica. Esta imagen incluyó índices de vegetación y la altura de dosel, variables clave para la identificación del bambú, al representar tanto el vigor como la estructura de la vegetación. Además, se presentan en la Figura 13 un ejemplo visual de la imagen multibanda y en la Figura 14 los valores de las bandas predictoras en píxeles correspondientes a áreas con presencia de bambú.

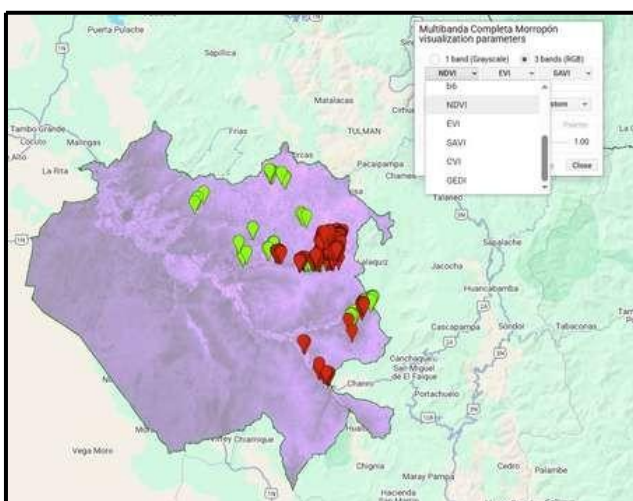


Figura 13: Imagen multibanda para la provincia de Morropón - Piura

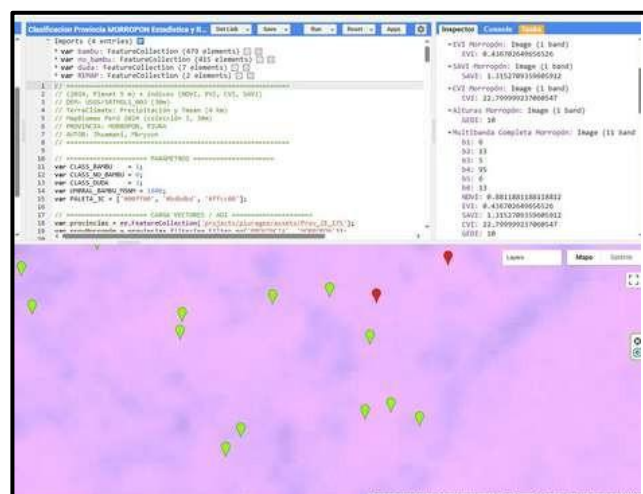


Figura 14: Valores espectrales de un píxel de bambú obtenidos con la herramienta Inspector

3.3.3.3. Generación de un Área Ecológica (probable)

Con el fin de optimizar el entrenamiento y la clasificación del bambú, se delimitó un Área Ecológica Probable que restringe el análisis a zonas con mayor probabilidad de ocurrencia de esta cobertura. Esta estrategia permitió reducir la extensión del área de procesamiento en Google Earth Engine (GEE), mejorando la eficiencia computacional y evitando limitaciones de memoria, especialmente a escala departamental, como en el caso de Piura.

La delimitación del área ecológica fue desarrollada de manera iterativa, a partir de pruebas preliminares de clasificación, las cuales evidenciaron problemas de sobreestimación del bambú en áreas extensas y heterogéneas, así como restricciones técnicas de procesamiento. El área se definió integrando resultados preliminares, rangos ambientales observados y criterios ecológicos del bambú, considerando variables como altitud, índices de vegetación y altura de dosel.

De acuerdo con el análisis y la bibliografía especializada, la presencia de bambú se asoció principalmente a valores de NDVI $> 0,5$, altura de dosel > 3 m y altitudes por debajo de los 1 800 m s. n. m. Estos umbrales se emplearon como criterios para delimitar el área ecológica probable, la cual constituyó el marco espacial para el entrenamiento y la clasificación supervisada final.

En la Figura 15 se presentan el Área Ecológica para la provincia de Morropón- Piura, mientras que la Tabla 5 muestra las Áreas Ecológicas Probables definidas para cada uno de los departamentos analizados, las cuales constituyeron el marco espacial para la ejecución del proceso de clasificación supervisada posterior.

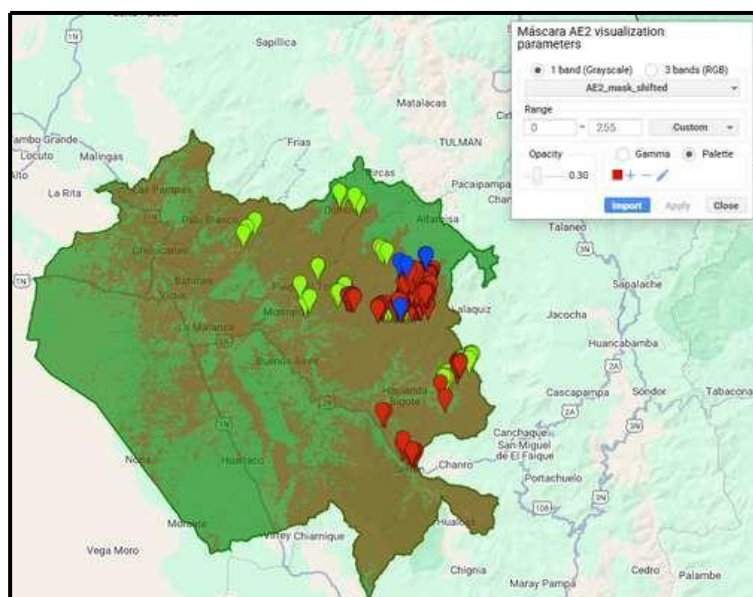




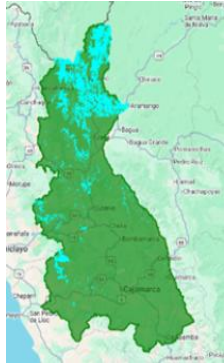



Figura 15: Área Ecológica probable para la provincia de Morropón - Piura

Tabla 5: Puntos de muestreo empleados en el entrenamiento del clasificador Random Forest

Región	Piura	Cajamarca	Amazonas
Áreas de interés			
Muestreo	524 puntos y 646 polígonos	957 puntos y 122 polígonos	1603 puntos y 387 polígonos
Área Ecológica (Filtro)			
Muestreo	Altitud > 1800 msnm, NDVI > 0.5, Altura dosel > 3 m	Altitud > 1800 msnm, NDVI > 0.5, Altura dosel = 3 a 20 m	Altitud > 1800 msnm, NDVI = 0.5 a 0.8, Altura dosel = 3 a 20 m

3.3.4. Clasificación supervisada

Con las áreas de entrenamiento depuradas para las clases bambú y no bambú, se ejecutó la clasificación supervisada mediante el algoritmo Random Forest en la plataforma Google Earth Engine (GEE). El clasificador fue entrenado utilizando variables predictoras espectrales y estructurales, incluyendo índices de vegetación y altura de dosel, y aplicado al conjunto total de píxeles del área de análisis.

La clasificación permitió generar mapas de distribución del bambú a escala provincial y distrital (con imágenes PlanetScope) y departamental (con imágenes Sentinel-2), asegurando coherencia espacial entre escalas. El modelo fue configurado con 200 árboles, lo que contribuyó a mejorar su estabilidad y capacidad de generalización, reduciendo la varianza del resultado (Bryson, 2023).

En la Figura 16 se observa la clasificación resultante en la provincia de Morropón - Piura, en la Tabla 6 se observan los resultados de las clasificaciones supervisadas a nivel de departamento.

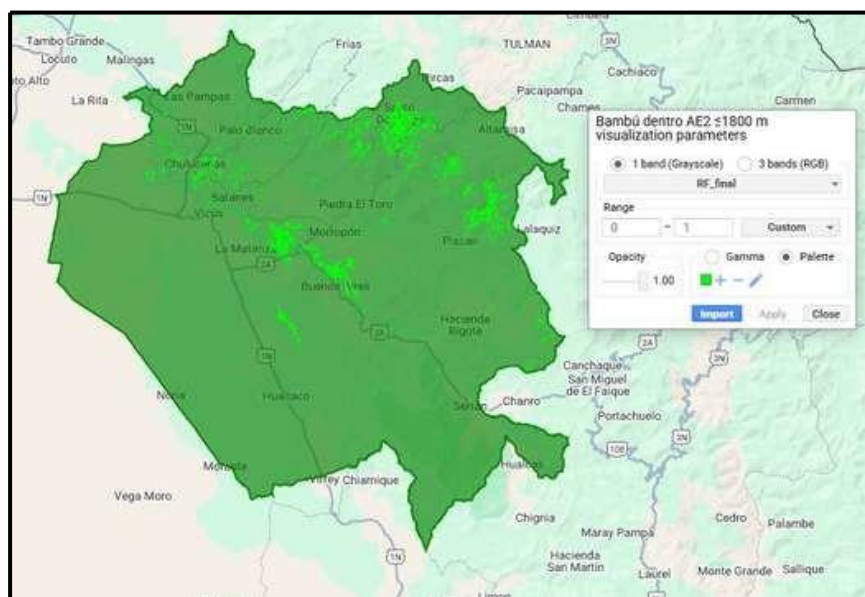


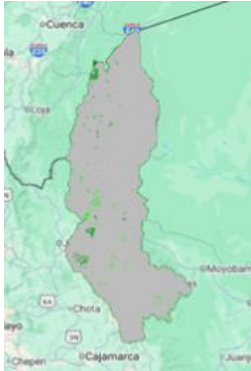


Figura 16: Clasificación supervisada del bambú (color verde claro) en la provincia de Morropón - Piura

Tabla 6: Clasificación supervisada por departamento

	Piura	Cajamarca	Amazonas
Región			
Muestreo	Clase 1 (bambú): color verde claro; Clase 2 (no bambú): color plomo	Clase 1 (bambú): color verde claro; Clase 2 (no bambú): color naranja	Clase 1 (bambú): color verde claro; Clase 2 (no bambú): color plomo

3.3.5. Revisión y edición

Se realizó una revisión detallada de los resultados de la clasificación preliminar de bambú y no bambú, mediante interpretación visual en plataformas SIG y validación por especialistas locales, lo que permitió corregir errores, ajustar límites y reclasificar áreas con ambigüedad espectral, mejorando la precisión temática del producto final.

Este proceso se apoyó en imágenes de alta resolución (PlanetScope, BaseMap y Google Earth Pro), así como en los resultados obtenidos con Sentinel-2. En términos generales, Sentinel-2 presentó mayor estabilidad radiométrica, mientras que PlanetScope permitió una delimitación espacial más detallada de las áreas correctamente identificadas. La integración de ambos enfoques resultó clave para el reconocimiento confiable de la distribución del bambú. Asimismo, en la Figura 17 se presentan ejemplos de la clasificación preliminar y los ajustes realizados durante la etapa de revisión, mientras que la Figura 18 muestra el resultado final de la clasificación corregida.

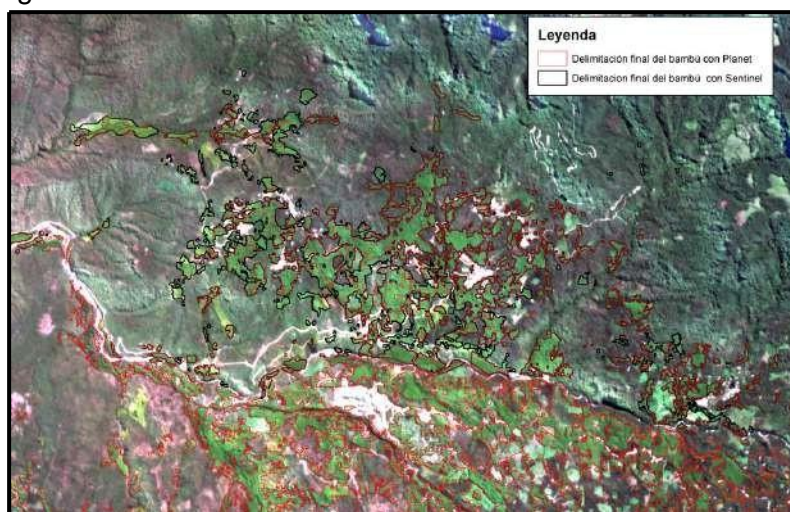


Figura 17: Resultado de clasificación de bambú con Sentinel y Planet sobre la imagen Sentinel (imagen mediana de todo el 2024)

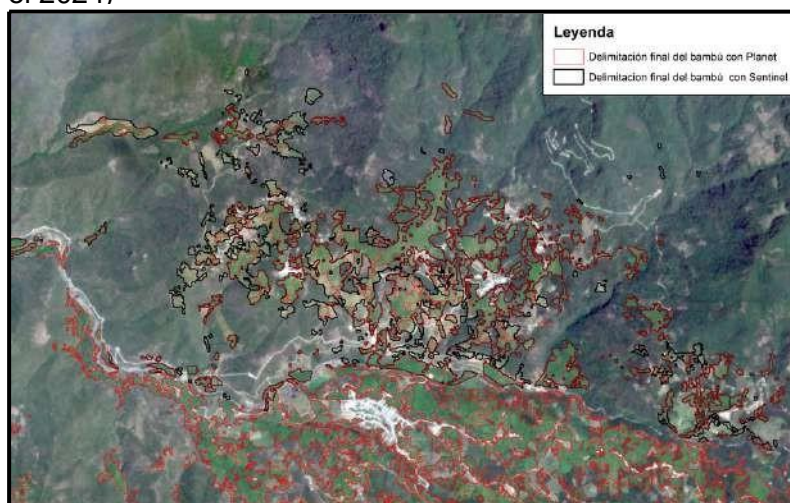


Figura 18: Resultado de clasificación de bambú con Sentinel y Planet sobre la imagen Planet (noviembre y diciembre del 2024)

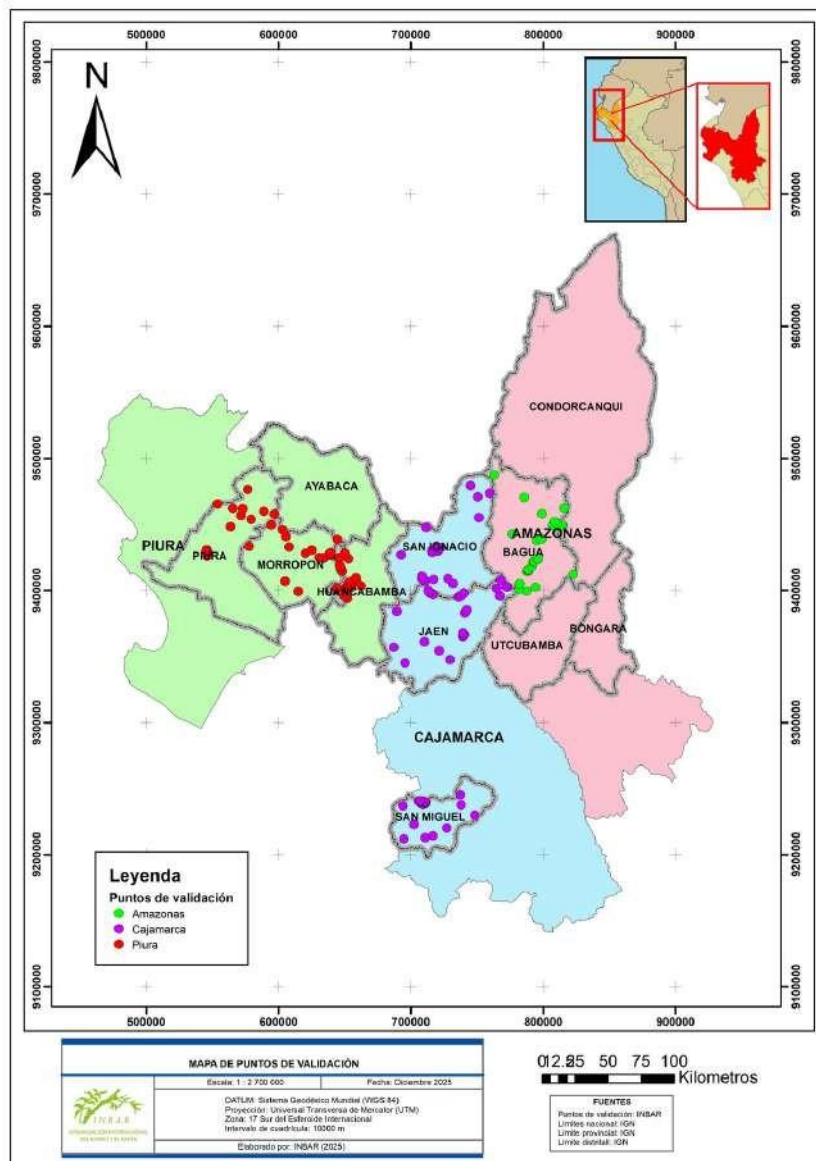
3.4. Validación

3.4.1. Diseño de muestreo

La validación del mapa de distribución de bambú se realizó mediante un muestreo estratificado por provincias de interés, considerando la heterogeneidad del territorio y las limitaciones de acceso y disponibilidad de información. En cada provincia se establecieron 30 puntos de validación, combinando 20 puntos de campo y 10 puntos de gabinete obtenidos por interpretación experta de imágenes satelitales de alta resolución.

Este enfoque permitió balancear la información empírica directa con una adecuada cobertura espacial, garantizando una evaluación confiable de la precisión del mapa bajo restricciones logísticas. La cantidad de puntos definida responde a criterios estadísticos y metodológicos comúnmente aceptados en estudios de validación de clasificaciones satelitales (Congalton, 1991).

Mapa 2: Distribución espacial de los puntos de validación



3.4.2. Matriz de confusión

La exactitud del mapa de distribución de bambú se evaluó mediante matrices de confusión y el coeficiente Kappa, herramientas estándar en la validación de clasificaciones supervisadas con sensores remotos (Congalton, 2009). Este análisis permitió medir la concordancia entre el mapa generado y la información de referencia proveniente de puntos de campo y de gabinete.

La matriz de confusión compara la clase observada con la clase asignada por el modelo, donde los valores de la diagonal representan las clasificaciones correctas y los restantes corresponden a errores (Chuvieco, 2008). El análisis consideró dos clases: bambú y no bambú.

A partir de la matriz se calcularon la precisión global, la precisión del productor y la precisión del usuario para cada clase, así como los errores de omisión y comisión, proporcionando una medida robusta de la confiabilidad del proceso de clasificación del bambú.

3.4.3. Índice de Kappa

De forma complementaria, se calculó el coeficiente Kappa (κ) para evaluar la concordancia entre el mapa clasificado y los datos de referencia, ajustando la precisión observada por el acuerdo esperado por azar. Este índice permite una evaluación más robusta del desempeño del modelo, especialmente ante distribuciones desbalanceadas de clases. La interpretación se realizó según criterios estándar, donde valores $\kappa > 0,60$ indican un acuerdo sustancial y valores $\kappa > 0,80$ representan un acuerdo casi perfecto (Foody, 2002).

Tabla 7: Valoración del coeficiente Kappa

Coeficiente de Kappa (K)	Fuerza de concordancia
< 0,00	Pobre
0,00 – 0,20	Leve
0,21 – 0,40	Aceptable
0,41 – 0,60	Moderada
0,61 – 0,80	Considerable
0,81 – 1,00	Casi perfecta

Fuente: Landis y Koch (1977) citado por Casco (2017)

4. Análisis y diagnóstico de la zonificación de bambú

4.1. Departamento de Piura

4.1.1. Resultado de validación

El departamento de Piura presenta un acuerdo sustancial entre la información de referencia y el mapa de distribución de bambú. La clase bambú es identificada con alta confiabilidad, aunque se observa una ligera subestimación asociada a mosaicos agroforestales y vegetación ribereña.

Tabla 8: Matriz de confusión para la región Piura

Campo / Mapa	Clase 1 (bambú)	Clase 2 (no bambú)
1 (bambú)	53	7
2 (no bambú)	2	28

La evaluación de la clasificación muestra una precisión global (OA) de 0.900, lo que indica un alto nivel de concordancia general entre los datos clasificados y los datos de validación. Asimismo, el índice Kappa de 0.784 evidencia una concordancia sustancial, lo que confirma que la clasificación supera significativamente el acuerdo esperado por azar.

4.1.2. Zonificación de bambusales

En el departamento de Piura se registra una superficie total de 1 561,03 hectáreas con presencia de bambú. A nivel provincial, la distribución de estas áreas evidencia una mayor concentración en Morropón (699,19 ha), seguida de Huancabamba (539,30 ha), Ayabaca (280,75 ha) y la provincia de Piura (41,50 ha).

La provincia de Morropón concentra la mayor superficie de bambú del departamento, destacándose como el principal núcleo territorial. Esta distribución se explica por la presencia de paisajes de ladera con sistemas agroforestales y condiciones climáticas favorables, donde el bambú cumple funciones tanto productivas como de protección de suelos.

La provincia de Huancabamba, aunque ocupa el segundo lugar, presenta también una cobertura significativa, asociada a zonas de mayor altitud y mayor disponibilidad hídrica.

A nivel distrital, el distrito de Yamango (provincia de Morropón) concentra la mayor área de bambú del departamento, con 318,34 ha, constituyéndose en un territorio prioritario para acciones de manejo, monitoreo y evaluación del potencial productivo del bambú en Piura. La fuerte concentración espacial en este distrito sugiere ventajas logísticas para el desarrollo de iniciativas de aprovechamiento, siempre que se consideren las limitaciones de pendiente y accesibilidad.

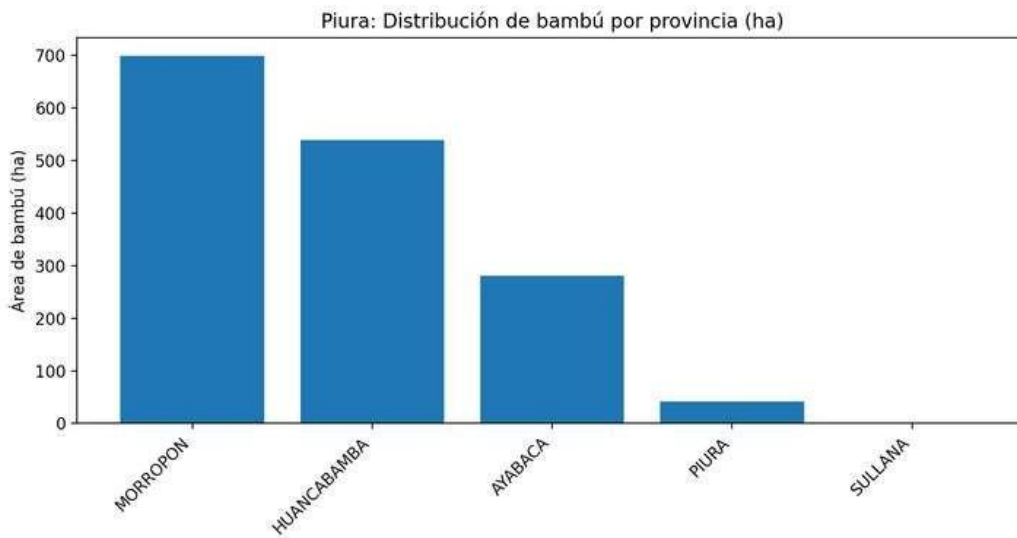


Figura 19: Distribución de la superficie de bambú en las provincias de la región Piura

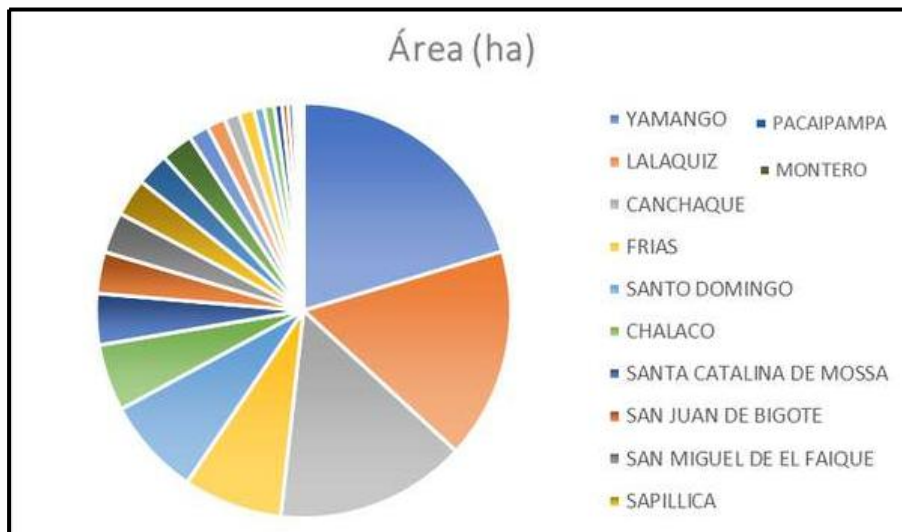
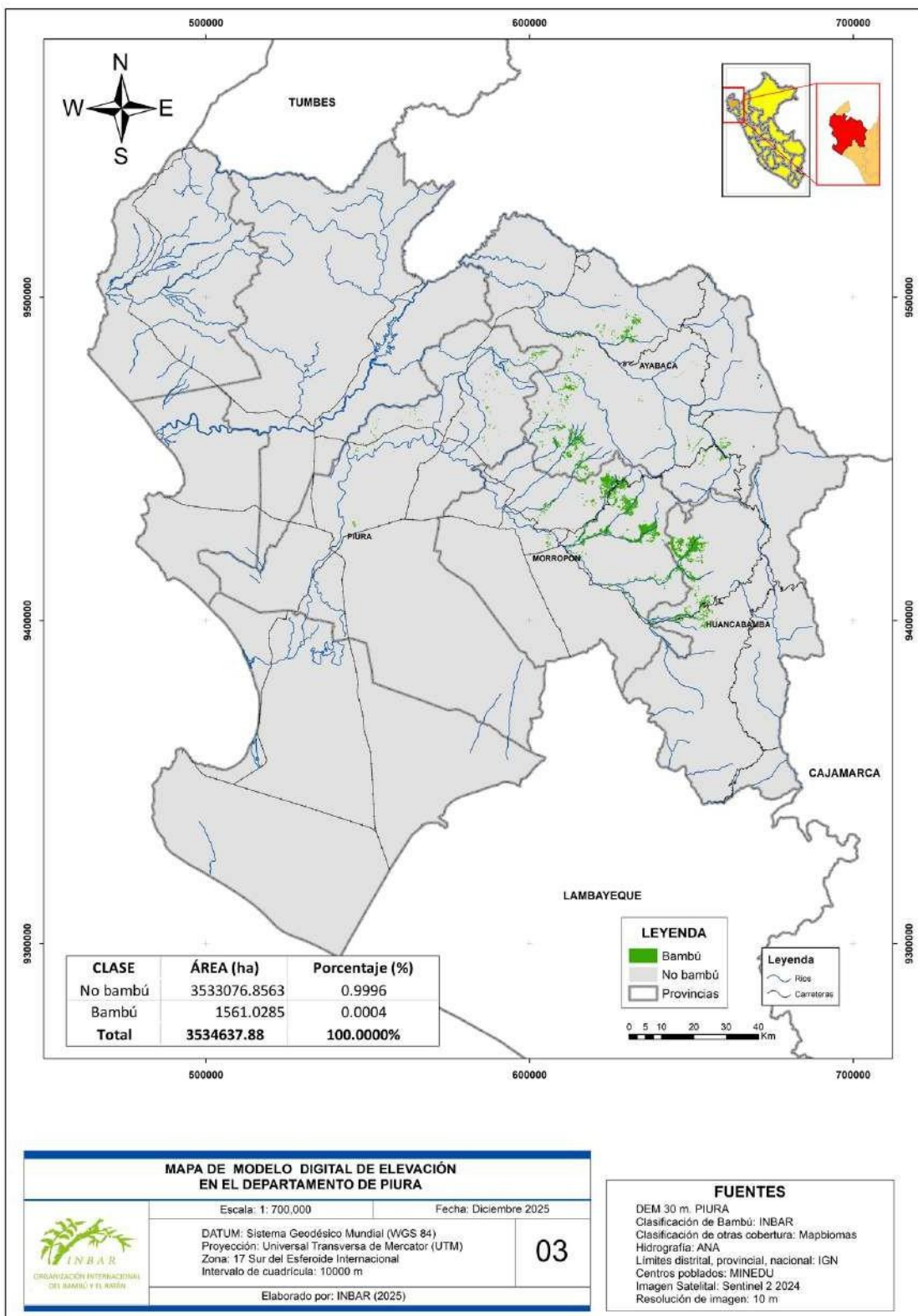


Figura 20: Distribución de la superficie de bambú en los distritos de la región Piura

Mapa 3: Superficie de bambú identificada mediante clasificación satelital en la región Piura



4.1.3. Rangos de altitud de la especie

Los bambusales identificados en Piura se distribuyen predominantemente en pisos altitudinales intermedios, con una altitud mediana de 916 m.s.n.m., abarcando un rango amplio que va desde zonas bajas (48 m) hasta áreas altoandinas (2 035 m).

Este patrón confirma que la presencia del bambú en Piura se encuentra principalmente asociada a la vertiente andina y a zonas de transición ecológica, más que a la franja costera propiamente dicha.

La pendiente mediana de 16° indica que gran parte de los bambusales se localiza en laderas de moderada a alta inclinación, lo que limita el uso de mecanización y condiciona el aprovechamiento productivo, pero al mismo tiempo refuerza el rol del bambú en la estabilización de suelos y control de erosión.

Por lo que las zonas con pendientes más bajas son prioritarias para planes de aprovechamiento comercial, mientras que pendientes altas se alinean mejor con roles de estabilización de laderas y restauración.

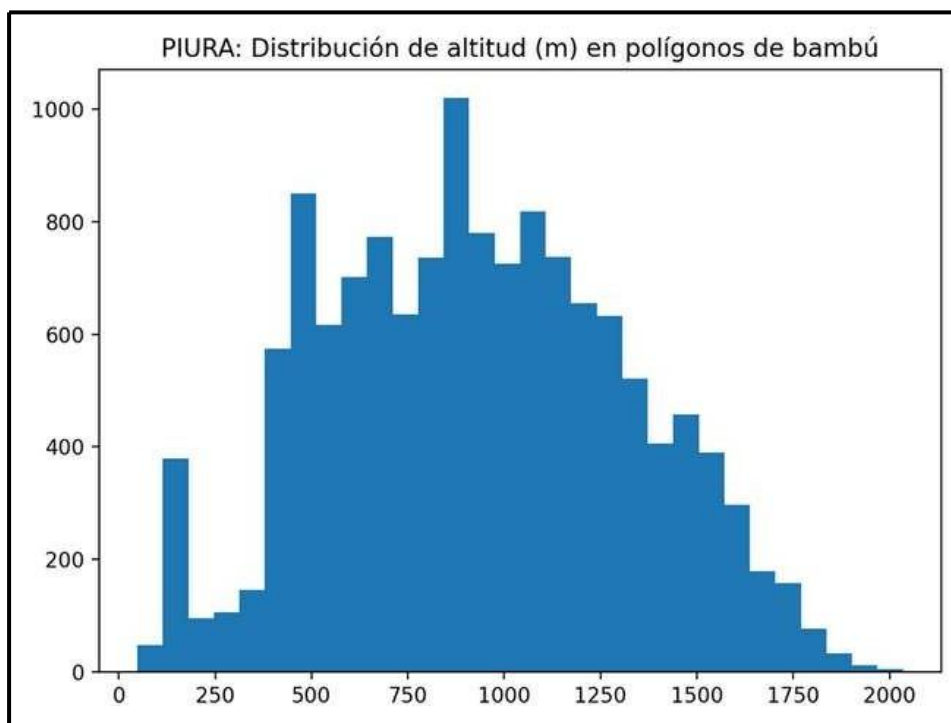
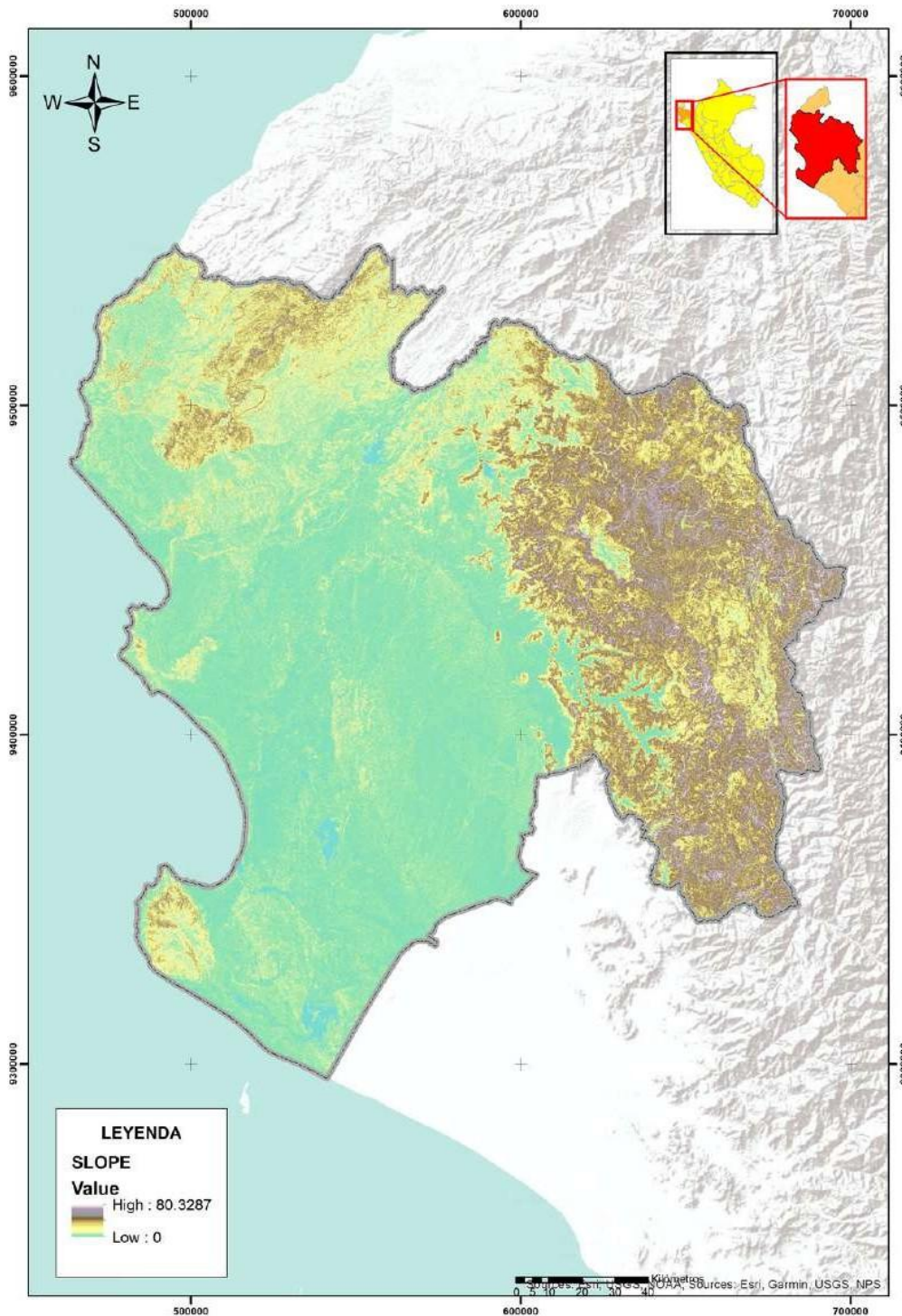


Figura 21: Distribución del rango altitudinal en la región Piura

Mapa 4: Variación altitudinal del territorio de la región Piura



LEYENDA

SLOPE

Value

High : 80.3287

Low : 0

MAPA DE PENDIENTES EN EL DEPARTAMENTO DE PIURA		
Escala: 1:1,400,000	Fecha: Noviembre 2025	
DATUM: Sistema Geodésico Mundial (WGS 84) Proyección: Universal Transversa de Mercator (UTM) Zona: 17 Sur del Esférico Internacional Intervalo de cuadrícula: 10000 m		
		03
Elaborado por: INBAR (2025)		

FUENTES

SLOPE
 Clasificación de Bambú: INBAR
 Clasificación de otras coberturas: Mapbiomas
 Hidrografía: ANA
 Límites distrital, provincial, nacional: IGN
 Centros poblados: MINEDU
 Imagen Satelital: Sentinel 2 2024
 Resolución de imagen: 10 m

4.1.4. Rangos de precipitación y temperatura de la especie

En Piura, la precipitación anual (2024) asociada al bambú varió entre 25 y 1 283 mm, con una mediana de 559 mm, mientras que la temperatura máxima anual osciló entre 23,2 y 32,1 °C, con una mediana de 28,8 °C. Estos valores reflejan un ambiente seco y cálido, donde el bambú se establece principalmente en microambientes con mayor disponibilidad hídrica, como quebradas y zonas ribereñas.

En conjunto, Piura representa un entorno ambientalmente restrictivo para el bambú, cuya distribución está fuertemente condicionada por la disponibilidad de agua y la topografía. En este contexto, los sitios con precipitación adecuada y temperaturas máximas moderadas presentan mayor potencial productivo, mientras que las condiciones más secas o cálidas requieren estrategias de manejo adaptativo, priorizando funciones de protección ambiental y sistemas agroforestales adaptados, más que plantaciones extensivas de alta intensidad.

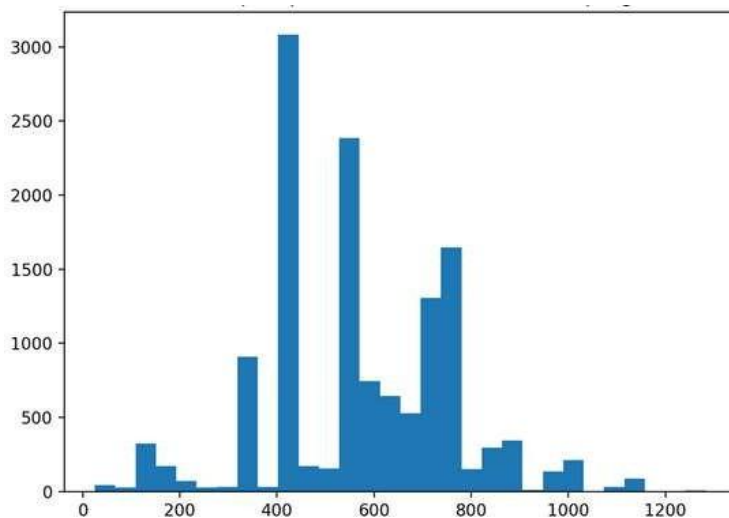


Figura 22: Distribución espacial del rango de precipitación en la región Piura

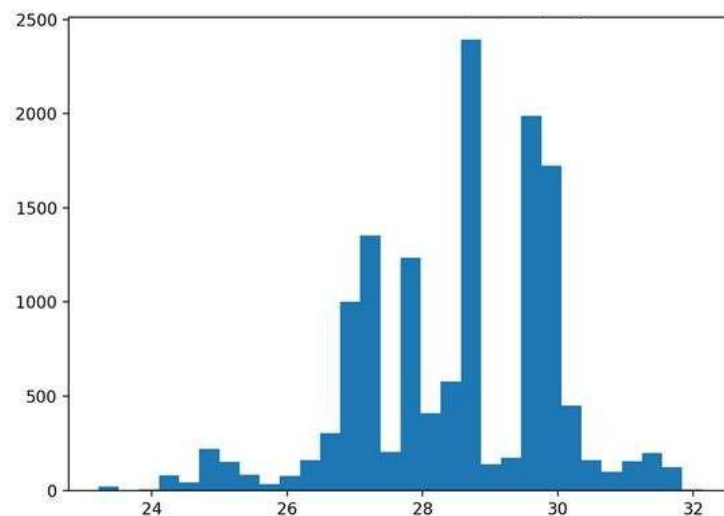
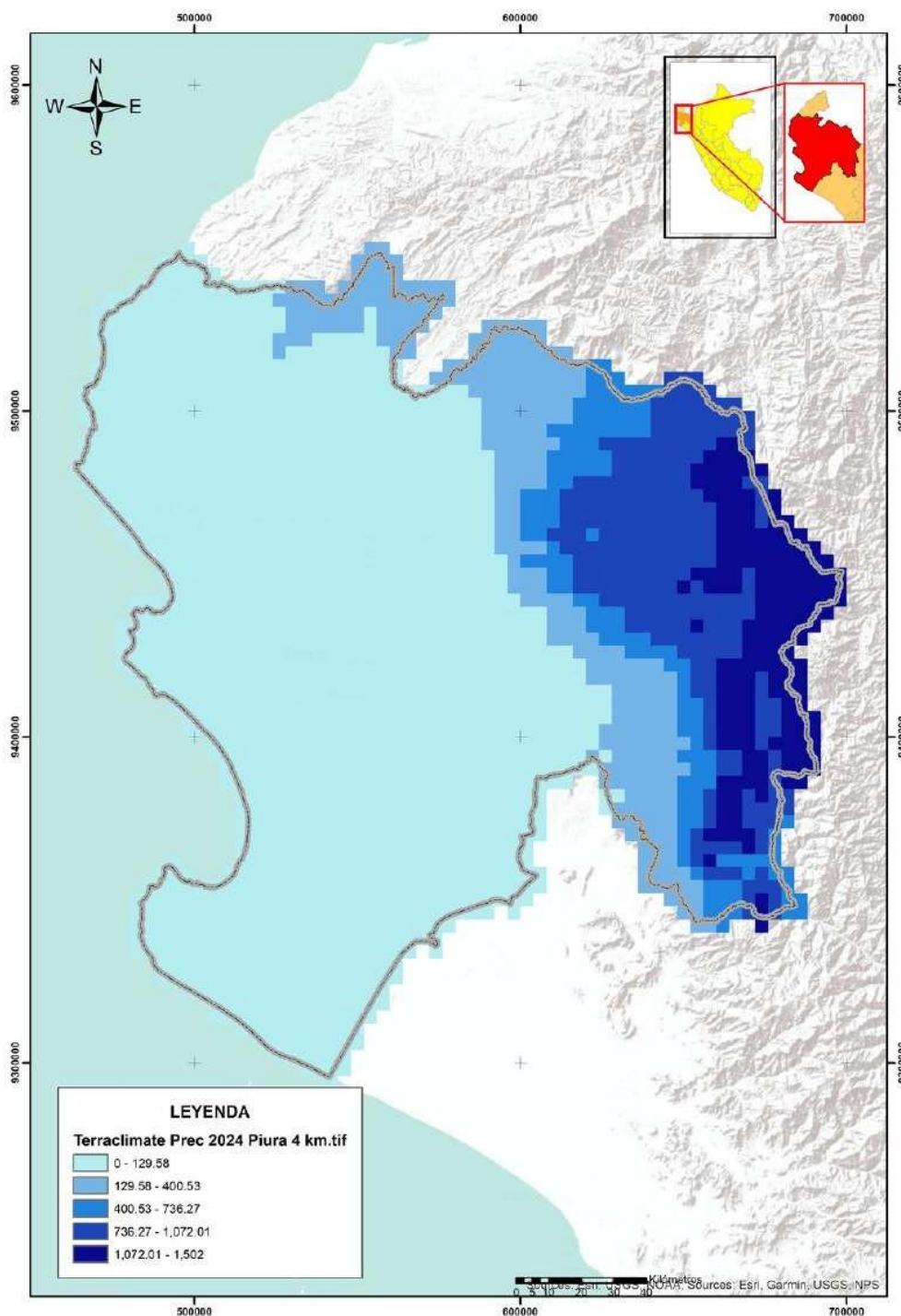


Figura 23: Distribución espacial de la temperatura máxima anual en la región Piura

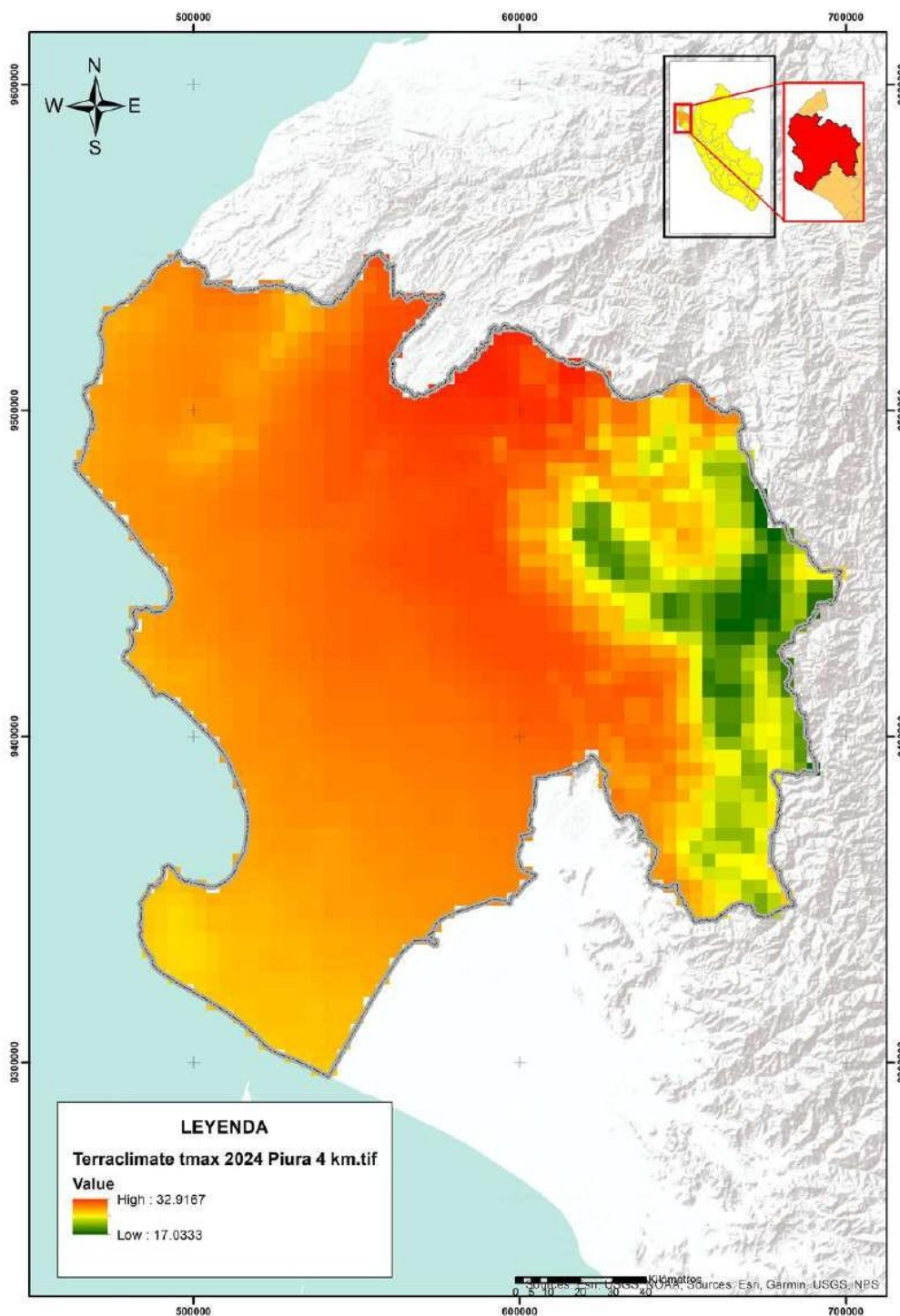
Mapa 5: Variación espacial de la precipitación en la región Piura



MAPA DE PRECIPITACIÓN EN EL DEPARTAMENTO DE PIURA		
	Escala: 1:1.400.000	Fecha: Noviembre 2025
	DATUM: Sistema Geodésico Mundial (WGS 84) Proyección: Universal Transversa de Mercator (UTM) Zona: 17 Sur del Esferoide Internacional Intervalo de cuadrícula: 10000 m	
	03	
Elaborado por: INBAR (2025)		

FUENTES
TerraClimate Precipitación 2024 Piura 4 km.
Clasificación de Bambú: INBAR
Clasificación de otros coberturas: Mapbiomas
Hidrografía: ANA
Límites distrital, provincial, nacional: IGN
Centros poblados: MINEDU
Imagen Satelital: Sentinel 2 2024
Resolución de imagen: 10 m

Mapa 6: Variación espacial de la temperatura máxima anual en la región Piura



MAPA DE TEMPERATURA EN EL DEPARTAMENTO DE PIURA		
	Escala: 1:1.400.000	Fecha: Noviembre 2025
	DATUM: Sistema Geodésico Mundial (WGS 84) Proyección: Universal Transversa de Mercator (UTM) Zona: 17 Sur del Ecuador Interseccional Intervalo de cuadrícula: 10000 m	
		03
Elaborado por: INBAR (2025)		

FUENTES
Terraclimate Temperatura max 2024 Piura 4 km
Clasificación de Bamba: INBAR
Clasificación de otras coberturas: Maplomas
Hidrografías: AUA
Límites distrital, provincial, nacional: IGN
Centros poblados: MINEDU
Imagen Satelital: Sentinel 2 2024
Resolución de imagen: 10 m

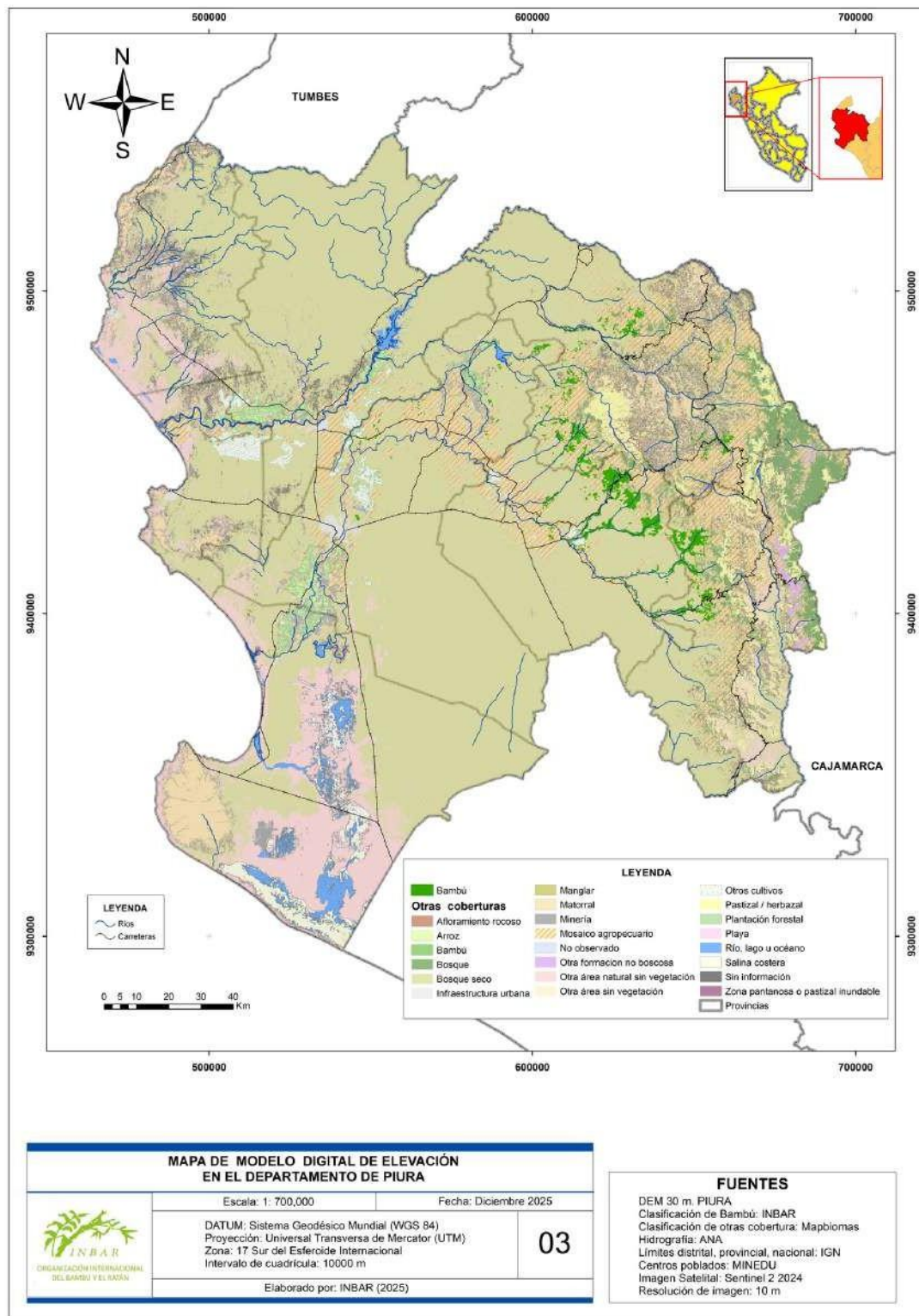
4.1.5. Asociación con otras coberturas

El análisis de coberturas (MapBiomass) permite interpretar el área ecológica del bambú y sus transiciones potenciales. Una alta asociación con coberturas de bosque secundario o mosaicos agropecuarios sugiere presencia en paisajes intervenidos, donde el bambú puede actuar como componente agroforestal y fuente de materia prima cercana a centros poblados. Por el contrario, su asociación con bosques densos o coberturas naturales indica un rol más ligado a conservación, protección de cuencas y restauración. Desde la cadena de valor, las coberturas adyacentes influyen en accesibilidad, conflicto de uso y viabilidad de manejo: zonas con matriz agrícola tienden a facilitar logística, mientras que matrices forestales o pendientes elevadas requieren enfoques de manejo más precautorios y posiblemente orientados a servicios ecosistémicos.

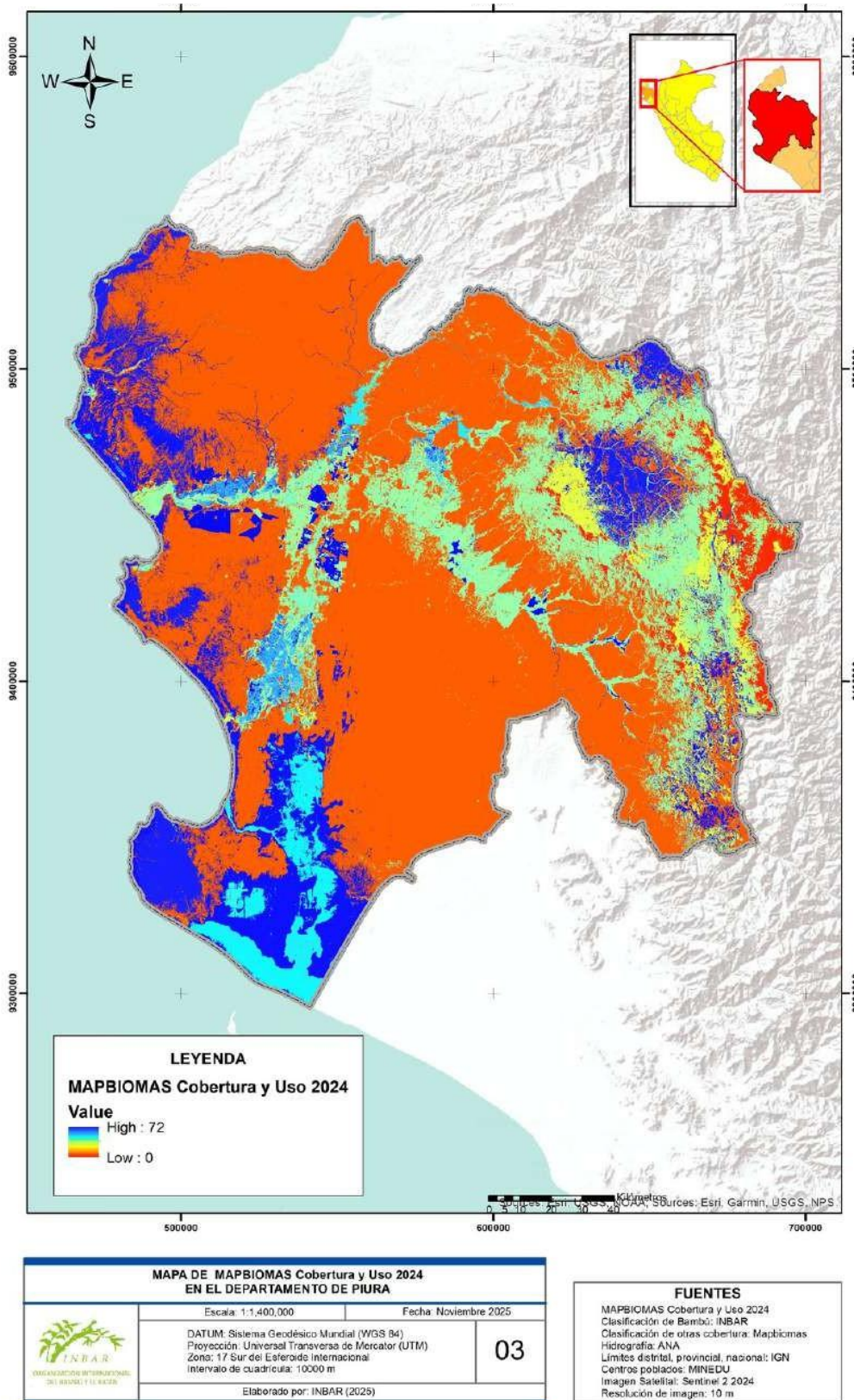
Tabla 9: Asociación entre clase (bambú/no bambú) y tipos de cobertura (MapBiomass)

Clase	Cobertura	Área_ha
No bambú	Bosque seco	2 053 291,71
No bambú	Mosaico agropecuario	522 175,97
No bambú	Otra área natural sin vegetación	314 902,06
No bambú	Matorral	205 209,99
No bambú	Bosque	98 180,16
No bambú	Pastizal / herbazal	93 048,18
No bambú	Salina costera	70 835,81
No bambú	Río, lago u océano	46 509,42
No bambú	Otros cultivos	44 257,62
No bambú	Arroz	43 972,42
No bambú	Infraestructura urbana	19 673,51
No bambú	Otra formación no boscosa	7 570,81
No bambú	Afloramiento rocoso	77,20
No bambú	Manglar	493,40
No bambú	Plantación Forestal	1 023,21

Mapa 7: Distribución de las áreas de bambú y otros tipos de cobertura según MapBiomias en el departamento de Piura



Mapa 8: Cobertura y uso del suelo según MapBiomás en el departamento de Piura



4.2. Departamento de Cajamarca

4.2.1. Resultado de validación

El departamento de Cajamarca presenta un nivel de concordancia sustancial a escala departamental, lo que refleja un desempeño robusto del proceso de clasificación. La ausencia de errores de comisión en la clase bambú indica una alta confiabilidad en la identificación de esta cobertura; no obstante, se observa una subestimación moderada, atribuida principalmente a la provincia de Jaén, donde la complejidad de los paisajes agroforestales incrementa la dificultad para discriminar el bambú frente a otras coberturas vegetales.

Tabla 10: Matriz de confusión para la región Cajamarca

Campo /Mapa	Clase 1 (bambú)	Clase 2 (no bambú)
1 (bambú)	46	9
2 (no bambú)	0	25

La evaluación de la clasificación evidencia una precisión global (OA) de 0.887, lo que indica un alto grado de concordancia general entre los datos clasificados y los datos de referencia. Asimismo, el índice Kappa de 0.762 refleja un nivel de acuerdo sustancial, confirmando que el desempeño del modelo supera de manera significativa el acuerdo esperado por azar.

4.2.2. Zonificación de bambusales

En el departamento de Cajamarca se registra una superficie total de 1 461,23 hectáreas con presencia de bambú. A nivel provincial, la distribución de estas áreas evidencia una mayor concentración en las provincias de San Miguel (743,59 ha), San Ignacio (317,33 ha), Santa Cruz (273,34 ha) y Jaén (122,44 ha).

La provincia de San Miguel concentra la mayor superficie de bambú del departamento, representando el principal núcleo territorial en Cajamarca. Esta provincia destaca no solo por la magnitud de la cobertura, sino también por la mayor continuidad espacial de los bambusales, lo que coincide con los mejores resultados obtenidos en la validación del mapa.

La provincia de San Ignacio ocupa el segundo lugar, con una distribución significativa pero más fragmentada, mientras que Jaén presenta coberturas menores, asociadas a paisajes más intervenidos y mayor heterogeneidad espectral.

Sobre la provincia de Santa Cruz, si bien no se encuentra entre las provincias de interés, se incluye en los resultados ya que alberga una extensión importante de plantaciones de bambú, al colindar con San Miguel es probable que la repartición de plantones en su momento también haya considerado esta provincia, lo que apunta a que debería ser incluida como una provincia de interés para estudios posteriores.

A nivel distrital, el distrito de La Florida (provincia de San Miguel) presenta la mayor área de bambú del departamento, con 644,22 ha, concentrando la mayor parte de la cobertura provincial. Este distrito constituye un punto clave para el diseño de estrategias de manejo sostenible y fortalecimiento de la cadena de valor del bambú en Cajamarca.

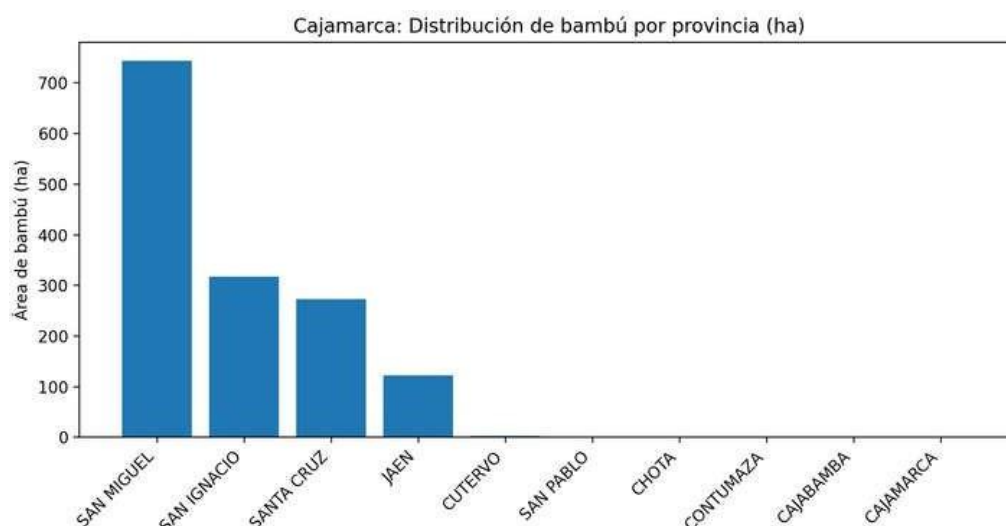


Figura 24: Distribución de la superficie de bambú por provincia en la región Cajamarca

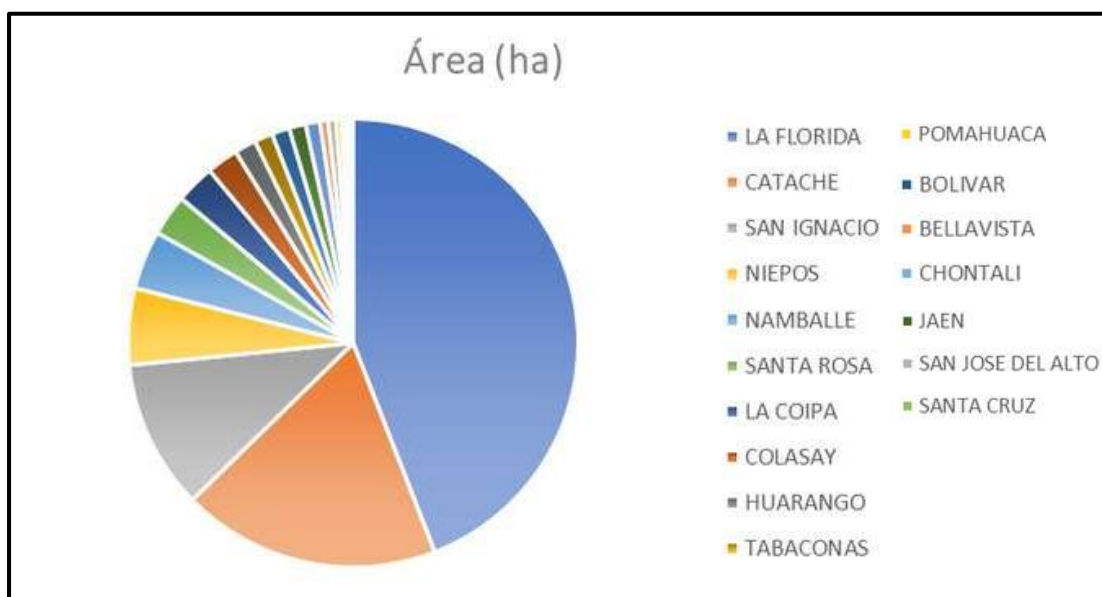
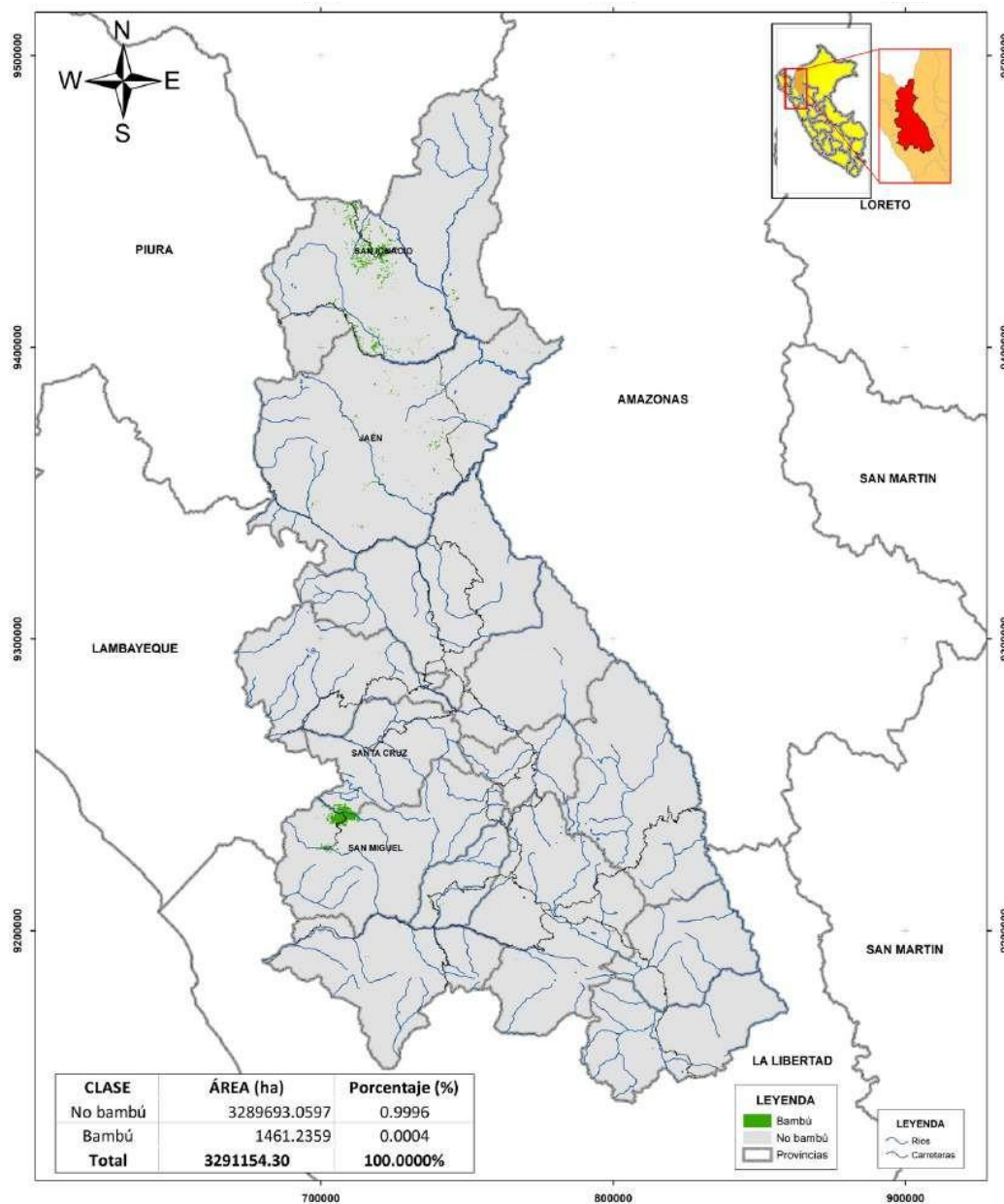


Figura 25: Distribución de la superficie de bambú por distrito en la región Cajamarca

Mapa 9: Superficie de bambú identificada mediante clasificación satelital en la región Cajamarca



MAPA DE MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN EN EL DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA	
Escala: 1:850,000	Fecha: Diciembre 2025
DATUM: Sistema Geodésico Mundial (WGS 84) Proyección: Universal Transversa de Mercator (UTM) Zona: 17 Sur del Esferoide Internacional Intervalo de cuadrícula: 10000 m	02
Elaborado por: INBAR (2025)	

FUENTES DEM 30 m. CAJAMARCA Clasificación de Bambú: INBAR Clasificación de otras coberturas: Mapbiomas Hidrografía: ANA Límites distrital, provincial, nacional: IGN Centros poblados: MINEDU Imagen Satelital: Sentinel 2 2024 Resolución de imagen: 10 m

4.2.3. Rangos de altitud de la especie

El departamento de Cajamarca presenta las condiciones ambientales más equilibradas para la presencia del bambú dentro del área de estudio. La altitud mediana de 982 m s.n.m. y un rango que se extiende desde 369 m hasta 2 129 m evidencian una distribución asociada a valles interandinos y laderas de altitud media, donde confluyen condiciones favorables de clima y suelo.

La pendiente mediana de 9,4° es significativamente menor que en Piura y Amazonas, lo que indica una mayor proporción de áreas con accesibilidad relativa para actividades de manejo, cosecha y transporte.

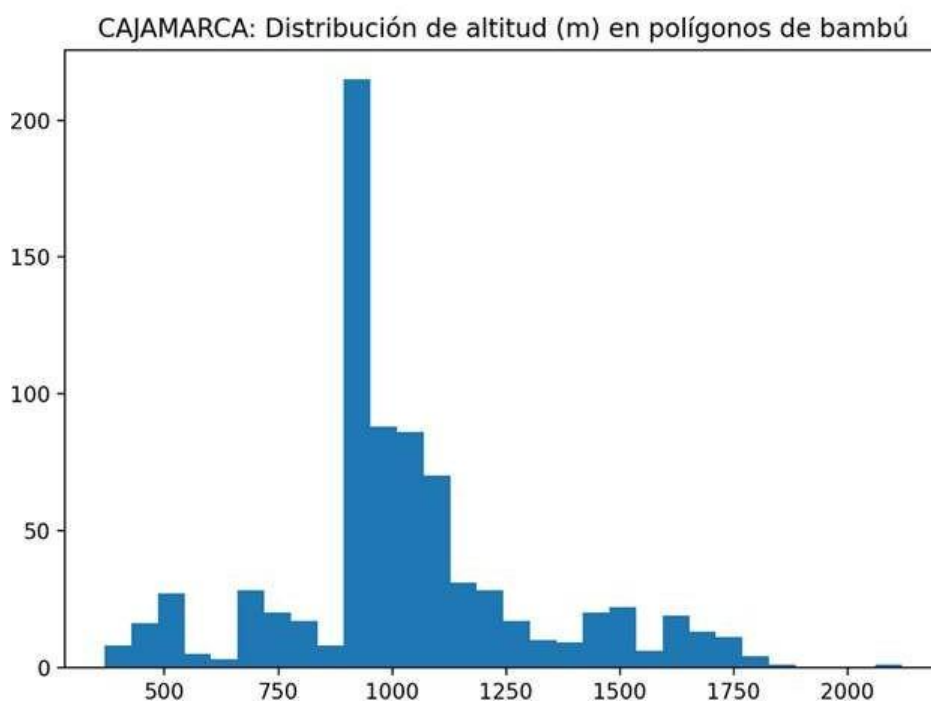
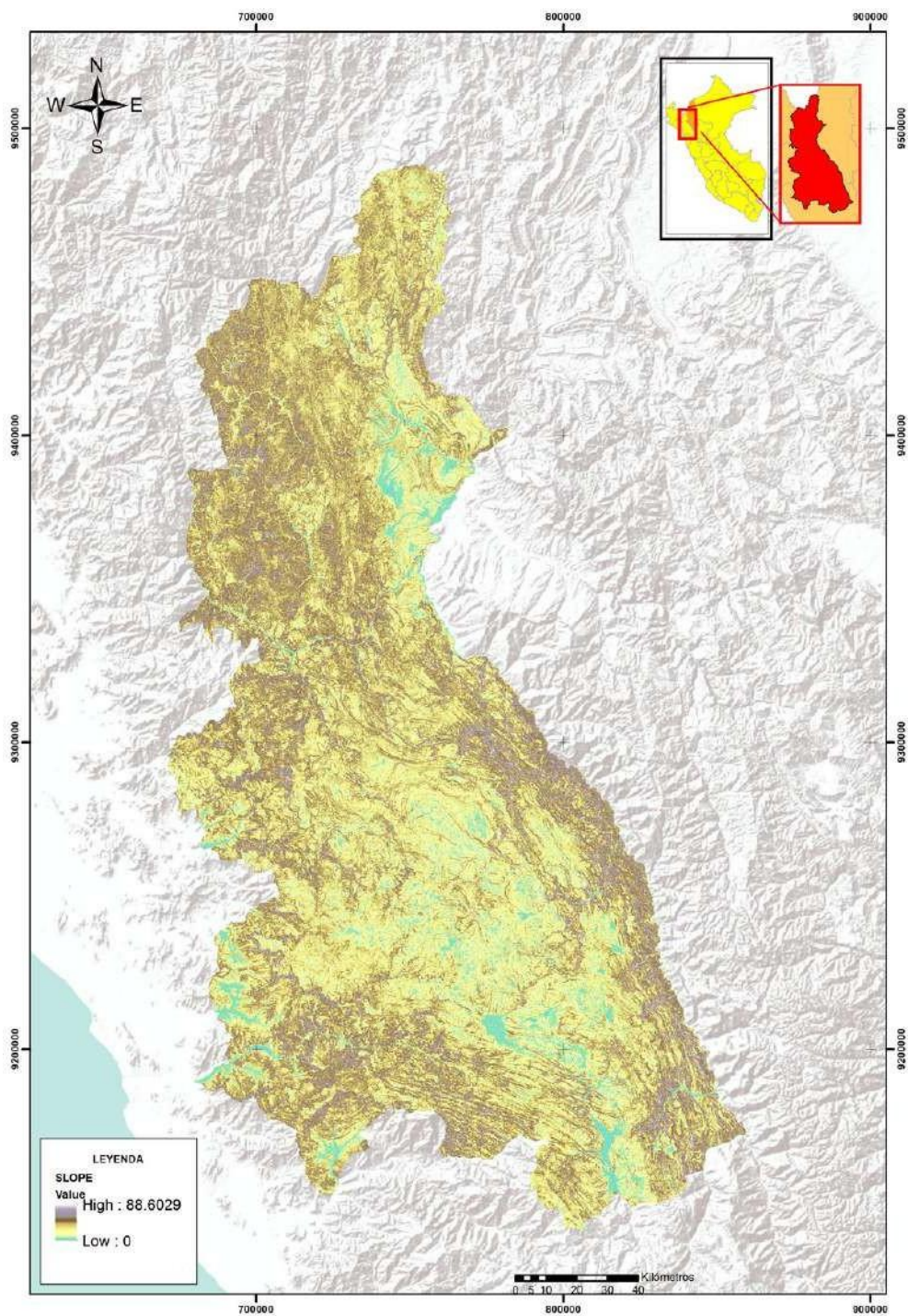


Figura 26: Distribución del rango altitudinal en la región Cajamarca

Mapa 10: Variación altitudinal del territorio de la región Cajamarca



MAPA DE PENDIENTES EN EL DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA	
	Escala: 1:1.400.000 Fecha: Noviembre 2025 DATUM: Sistema Geodésico Mundial (WGS 84) Proyección: Universal Transversa de Mercator (UTM) Zona: 17 Sur del Sistema Internacional Intervalo de cuadrícula: 10000 m Elaborado por: INBAR (2025)
	02

FUENTES
SLOPE: Clasificación de Bambú: INBAR Clasificación de otras coberturas: Maptiomas Hidrografía: ANA Límites distrital, provincial, nacional: IGN Centros poblados: MINEDU Imagen Satelital: Sentinel 2 2024 Resolución de imagen: 10 m

4.2.4. Rangos de precipitación y temperatura de la especie

En términos climáticos, Cajamarca registra una precipitación anual mediana de 712 mm y una temperatura máxima anual mediana de 27,6 °C, configurando un ambiente con mejor balance hídrico y menor estrés térmico para el bambú.

Estas condiciones explican la mayor continuidad espacial de los bambusales, así como los mejores resultados de validación obtenidos en este departamento. Desde una perspectiva silvícola y productiva, Cajamarca se perfila como el territorio con mayor potencial real para el desarrollo sostenible del bambú, tanto para usos estructurales como para el fortalecimiento de la cadena de valor local.

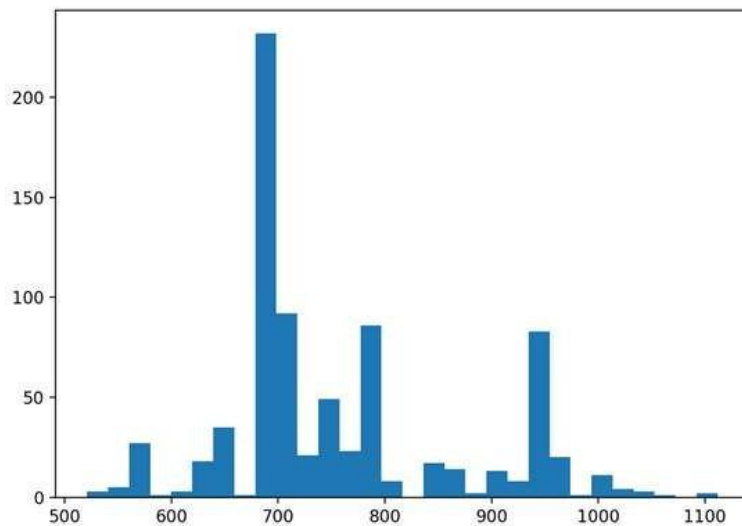


Figura 28: Distribución espacial del rango de precipitación en la región Cajamarca

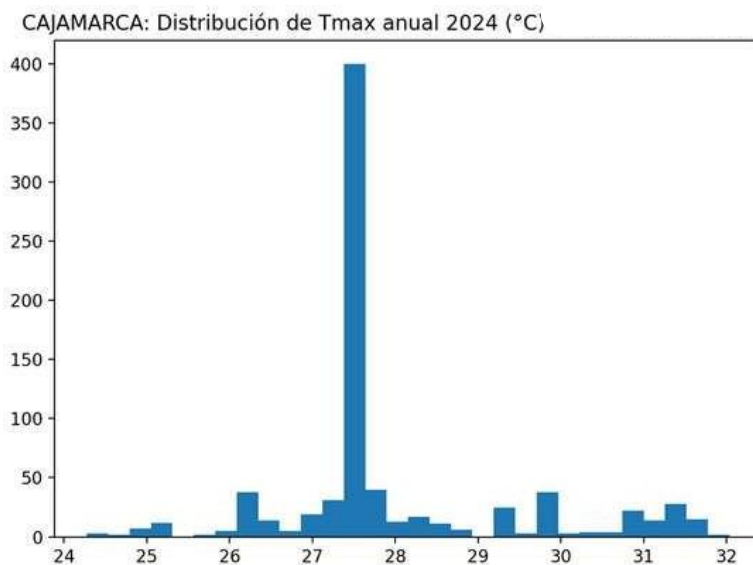
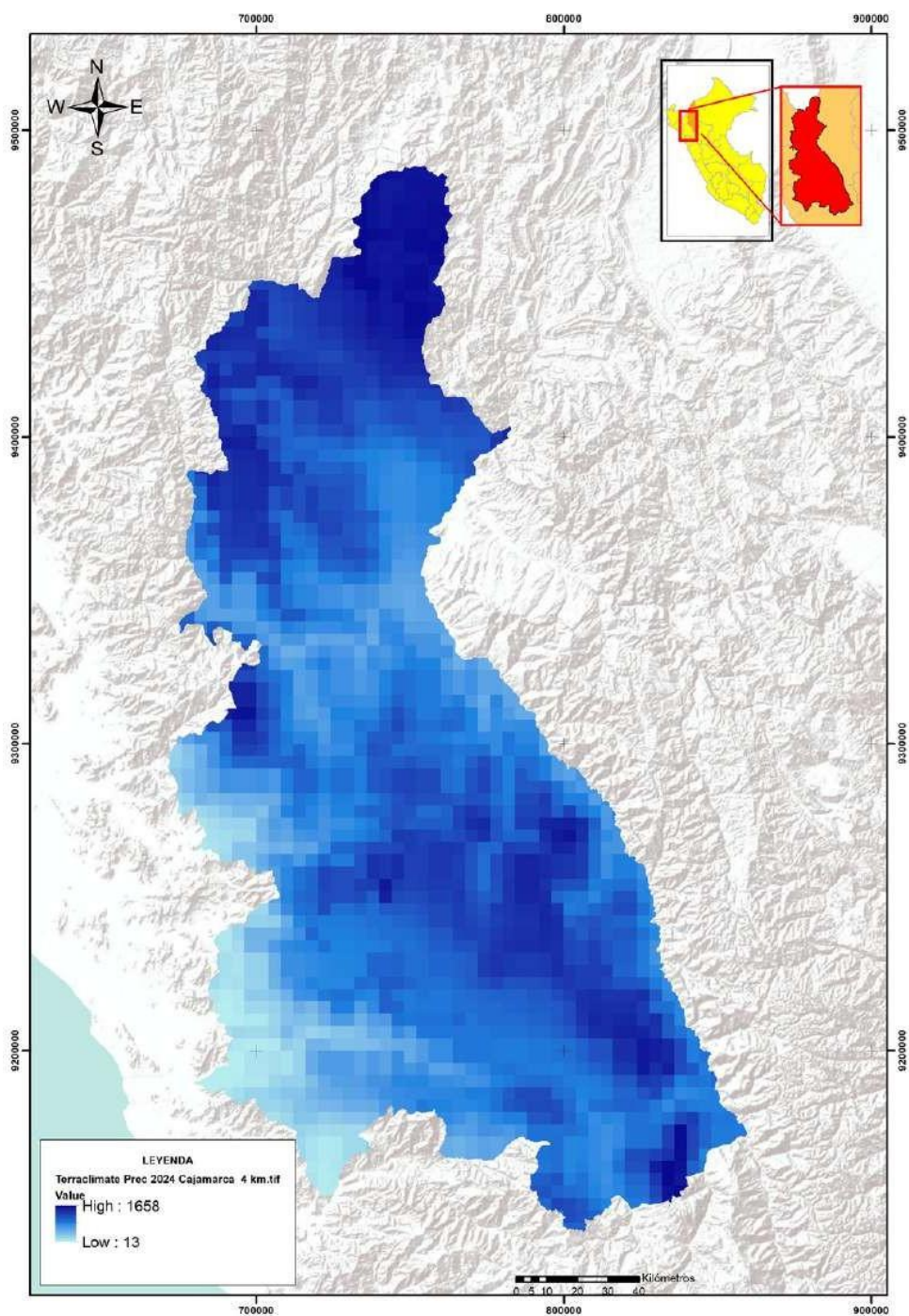


Figura 27: Distribución espacial de la temperatura máxima anual en la región Cajamarca

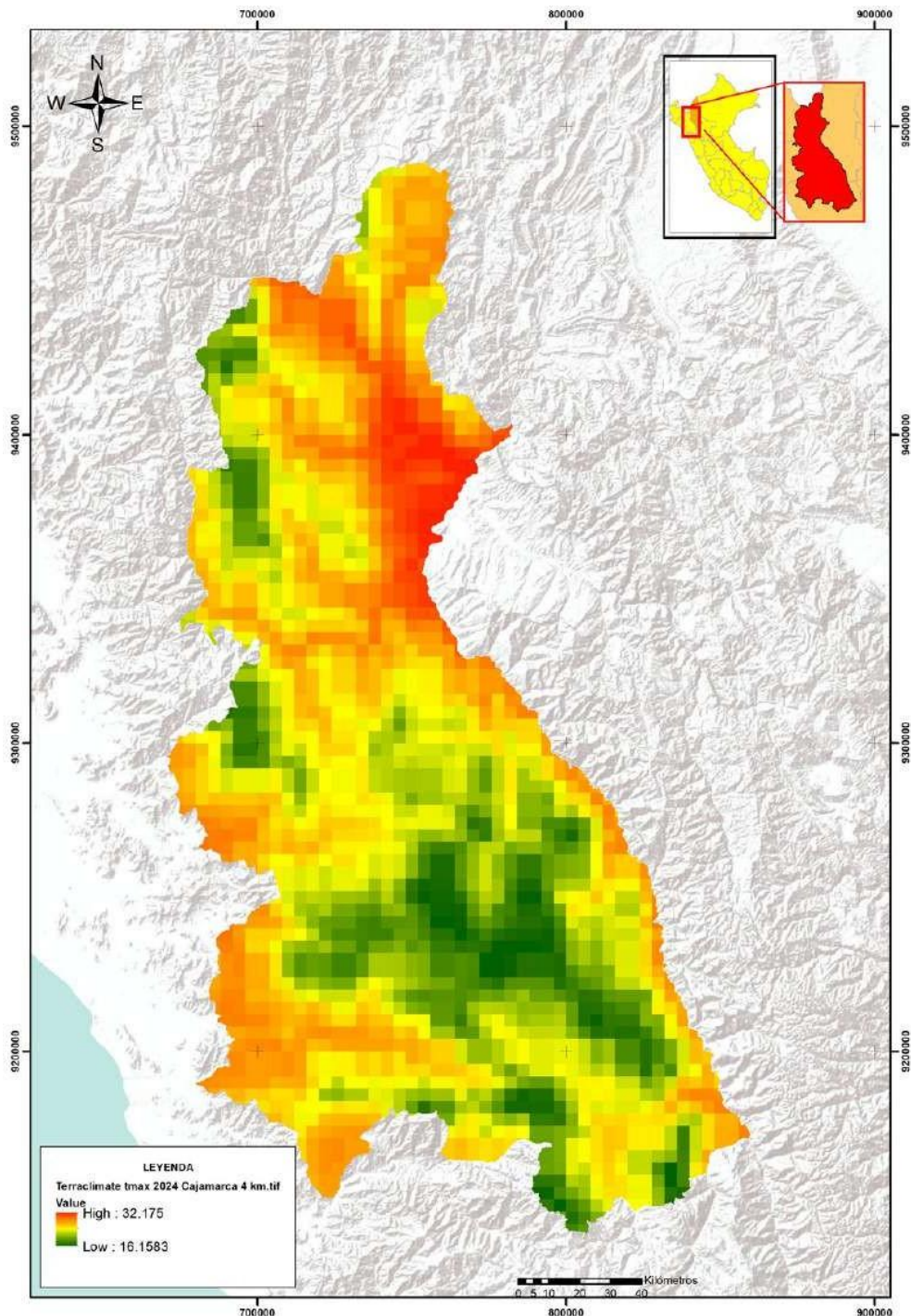
Mapa 11: Variación espacial de la precipitación en la región Cajamarca



MAPA DE PRECIPITACIÓN EN EL DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA		
	Escala: 1:1.400.000	Fecha: Noviembre 2025
	DATUM: Sistema Geodésico Mundial (WGS 84) Proyección: Universal Transversa de Mercator (UTM) Zona: 17 Sur del Estereó de Internacional Intervalo de cuadrícula: 10000 m	02
Elaborado por: INBAR (2025)		

FUENTES
Terracimato Prec 2024 Cajamarca 4 km.tif
Clasificación de Bambú: INBAR
Clasificación de otras coberturas: Mapbiomas
Hidrografía: ANA
Límites distrital, provincial, regional: IGN
Centros poblados: MINEDU
Imagen Satelital: Sentinel 2 2024
Resolución de imagen: 10 m

Mapa 12: Variación espacial de la temperatura máxima anual en la región Cajamarca



MAPA DE TEMPERATURA EN EL DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA		
	Escala: 1:1.400.000	Fecha: Noviembre 2025
	DATUM: Sistema Geodésico Mundial (WGS 84) Proyección: Universal Transversa de Mercator (UTM) Zona: 17 Sur del Esferoide Internacional Intervalo de cuadrícula: 10000 m	02
	Elaborado por: INBAR (2025)	

FUENTES
Terracimate tmax 2024 Cajamarca 4 km.tif
Clasificación de Bambi: INBAR
Clasificación de otras coberturas: Mapíomas
Hidrografía: ANA
Límites distrital, provincial, nacional: IGN
Centros poblados: MINEDU
Imagen Satelital: Sentinel 2 2024
Resolución de imagen: 10 m

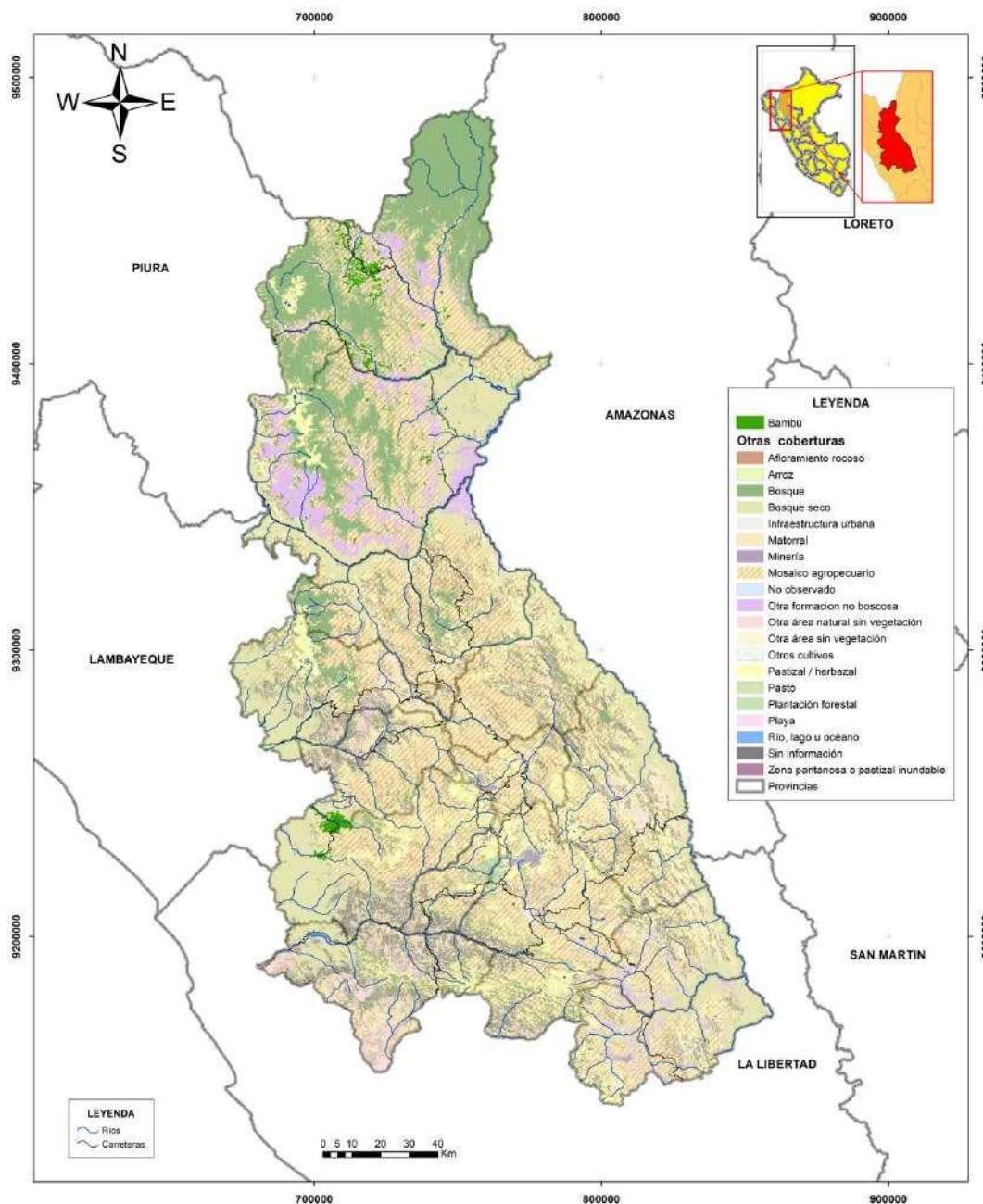
4.2.5. Asociación con otras coberturas

El análisis de coberturas de la tierra a partir de MapBiomás permite interpretar el contexto espacial y funcional en el que se inserta el bambú, así como sus posibles transiciones dentro del paisaje. Una alta asociación con coberturas de bosque secundario o mosaicos agropecuarios sugiere su presencia predominante en paisajes intervenidos, donde el bambú puede desempeñar un rol relevante como componente agroforestal y como fuente de materia prima próxima a los centros poblados. En contraste, su asociación con bosques densos u otras coberturas naturales indica una función más estrechamente vinculada a la conservación, la protección de cuencas y los procesos de restauración ecológica.

Tabla 11: Asociación entre clase (bambú/no bambú) y tipos de cobertura (MapBiomás) en Cajamarca

Clase	Cobertura	Área_ha
No Bambú	Mosaico agropecuario	1 242 362,11
No Bambú	Bosque seco	519 241,638
No Bambú	Bosque	504 287,32
No Bambú	Pastizal / herbazal	433 075,981
No Bambú	Matorral	214 821,222
No Bambú	Otra formación no boscosa	151 188,02
No Bambú	Otra área natural sin vegetación	106 325,712
No Bambú	Plantación forestal	53 773,961
No Bambú	Pasto	13 108,7592
No Bambú	Infraestructura urbana	12 935,2639
No Bambú	Río, lago u océano	9 590,6047
No Bambú	Arroz	8 470,68962
No Bambú	Otros	20 511,78

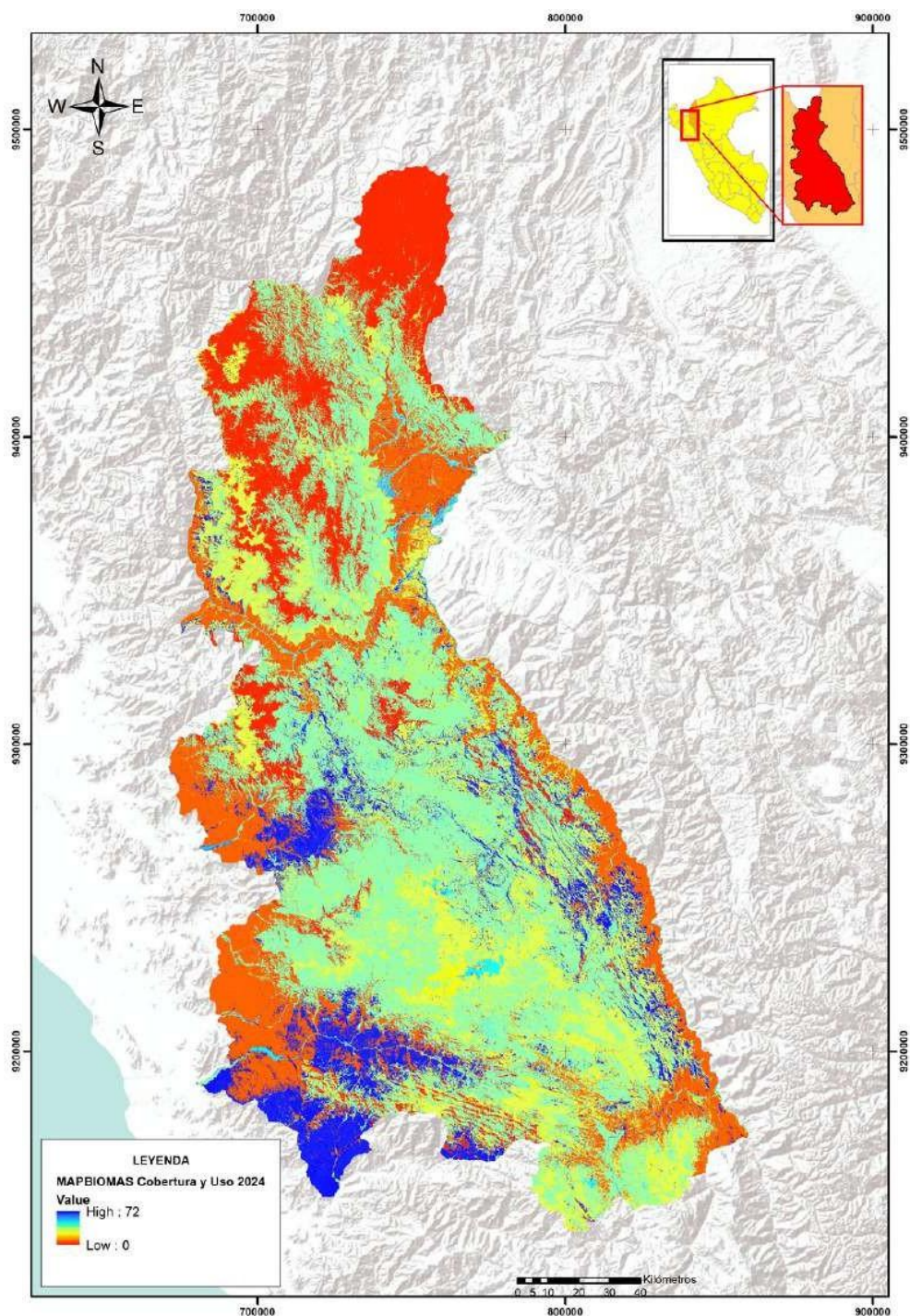
Mapa 13: Distribución de las áreas de bambú y otros tipos de cobertura según MapBiomias en el departamento de Cajamarca



MAPA DE MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN EN EL DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA	
	Escala: 1:850,000 Fecha: Diciembre 2025 DATUM: Sistema Geodésico Mundial (WGS 84) Proyección: Universal Transversa de Mercator (UTM) Zona: 17 Sur del Esferoide Internacional Intervalo de cuadrícula: 10000 m Elaborado por: INBAR (2025)
	02

FUENTES
DEM 30 m, CAJAMARCA
Clasificación de Bambú: INBAR
Clasificación de otras coberturas: Mapbiomas
Hidrografía: ANA
Límites distrital, provincial, nacional: IGN
Centros poblados: MINEDU
Imagen Satelital: Sentinel 2 2024
Resolución de imagen: 10 m

Mapa 14: Cobertura y uso del suelo según MapBiomás en el departamento de Cajamarca



MAPA DE MAPBIOMAS Cobertura y Uso 2024 EN EL DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA		
	Escala: 1:1.400.000	Fecha: Noviembre 2025
	DATUM: Sistema Geodésico Mundial (WGS 84) Proyección: Universal Transversa de Mercator (UTM) Zona: 17 Sur del Esferoide Internacional Intervalo de cuadrícula: 10000 m	02
Elaborado por: INBAR (2025)		

FUENTES
MAPBIOMAS Cobertura y Uso 2024
Clasificación de BAMBÚ: INBAR
Clasificación de otras coberturas: Mapbiomas
Hidrografía: ANA
Límites distrital, provincial, nacional: IGN
Centros poblados: MINEDU
Imagen Satelital: Sentinel 2 2024
Resolución de imagen: 10 m

4.3. Departamento de Amazonas

4.3.1. Resultado de validación

En el departamento de Amazonas, específicamente en la provincia de Bagua, el análisis evidencia un acuerdo sustancial entre el mapa de distribución de bambú y la información de referencia, alcanzando una precisión global del 90 % y un índice Kappa de 0.791. La clase bambú no presenta errores de comisión, lo que indica una identificación confiable y consistente de esta cobertura en el mapa resultante.

No obstante, es importante precisar que, en aquellas provincias que no fueron sometidas a validación de campo, como Condorcanqui y Utcubamba, los resultados deben interpretarse con cautela hasta contar con una verificación independiente. Esta limitación se debe principalmente a la ausencia de muestras de campo y de imágenes de alta resolución, lo cual restringió el reconocimiento confiable del bambú en dichas áreas.

Tabla 12: Matriz de confusión para la región Amazonas

Campo / Mapa	Clase 1 (bambú)	Clase 2 (no bambú)
1 (bambú)	17	3
2 (no bambú)	0	10

La evaluación de la clasificación evidencia una precisión global (OA) de 0.887, lo que indica un alto grado de concordancia general entre los datos clasificados y los datos de referencia. Asimismo, el índice Kappa de 0.762 refleja un nivel de acuerdo sustancial, confirmando que el desempeño del modelo supera de manera significativa el acuerdo esperado por azar.

4.3.2. Zonificación de bambusales

En el departamento de Amazonas se registra una superficie total de 3 411,45 hectáreas con presencia de bambú. A nivel provincial, la distribución de estas áreas evidencia una marcada concentración en la provincia de Bagua (1 736,30 ha), seguida de Condorcanqui (1615,73 ha), Bongara (27,78 ha) y Utcubamba (18,20 ha).

La provincia de Bagua concentra de manera dominante la cobertura de bambú del departamento, superando ampliamente al resto de provincias. Esta elevada concentración se asocia a condiciones favorables de clima, topografía y uso del suelo, así como a una mayor presencia

histórica de plantaciones y formaciones naturales de bambú.

En contraste, Bongara y Utcubamba presentan coberturas muy reducidas, lo que sugiere una distribución más puntual o fragmentada del bambú en estos territorios.

A nivel distrital, el distrito de Aramango (provincia de Bagua) concentra la mayor área de bambú del departamento, con 1 464,39 ha, representando el principal núcleo de bambú no solo en Amazonas, sino en el conjunto del área de estudio. Este distrito constituye un territorio estratégico para el monitoreo, la planificación y la evaluación de oportunidades productivas, considerando simultáneamente criterios de sostenibilidad y gestión territorial.

Asimismo, se identificaron pequeños manchales de bambú por encima de los 1 800 m s. n. m., principalmente en el distrito de Chachapoyas; no obstante, su distribución no es masiva

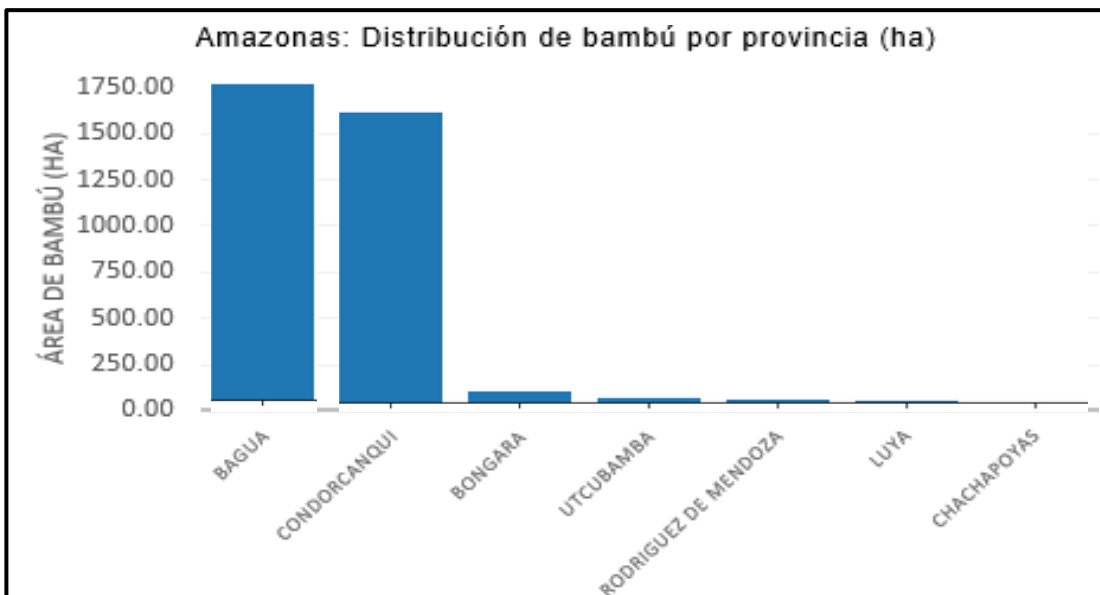


Figura 30: Distribución de la superficie de bambú por provincia en la región Amazonas

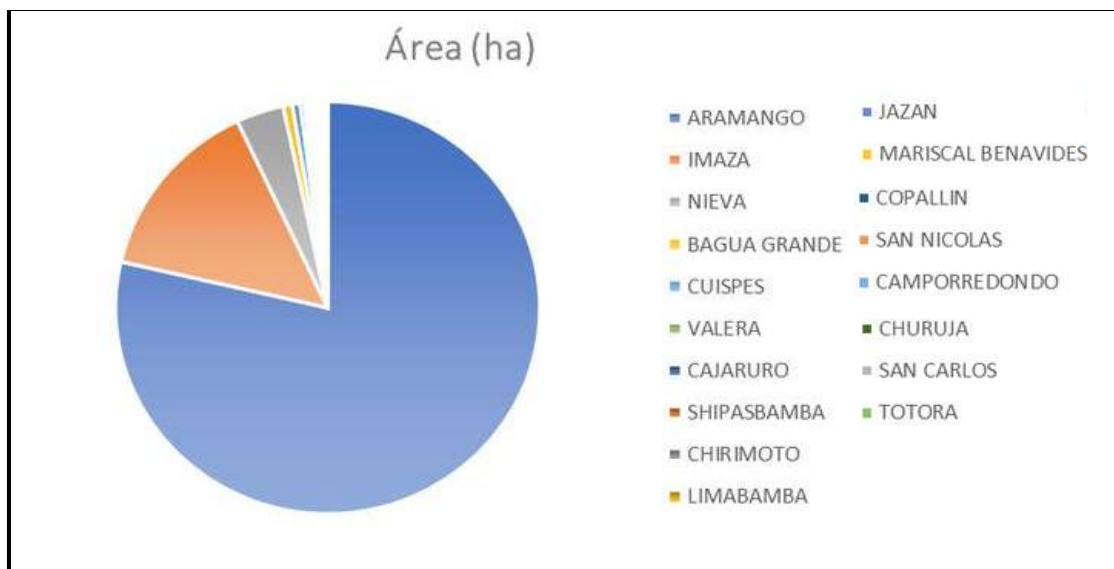
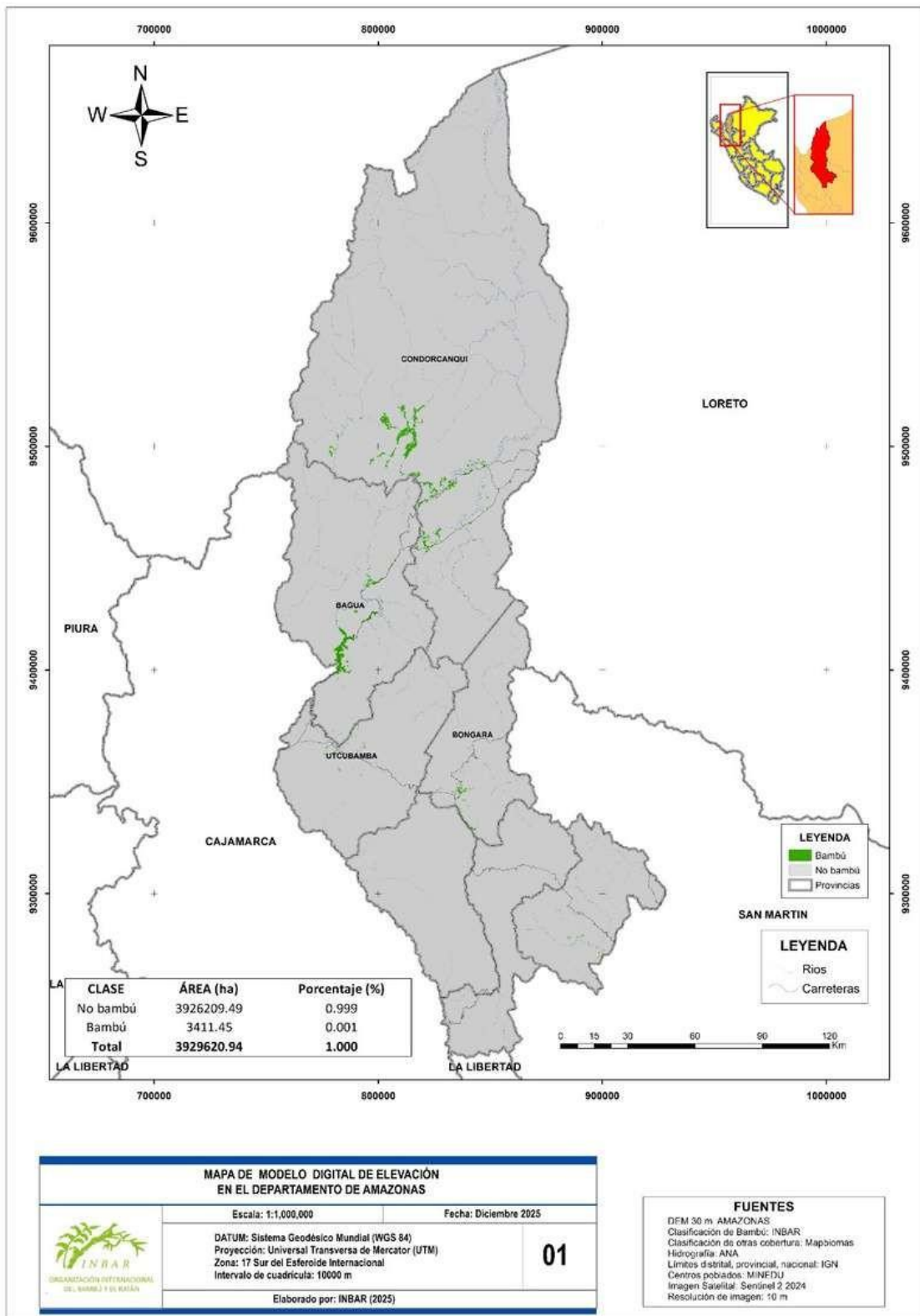


Figura 29: Distribución de la superficie de bambú por distrito en la región Amazonas

Mapa 15: Superficie de bambú identificada mediante clasificación satelital en la región Amazonas



4.3.3. Rangos de altitud de la especie

En Amazonas, el bambú se desarrolla en un contexto ambiental marcadamente distinto. La altitud mediana de 437 m.s.n.m. indica una clara asociación con pisos bajos y medios amazónicos, aunque con presencia puntual en zonas más elevadas (hasta 1 944 m). Este patrón refleja una fuerte relación con ecosistemas húmedos y bosques de ladera.

La pendiente mediana de 20° es la más alta de los tres departamentos, lo que evidencia un paisaje abrupto y de difícil accesibilidad, con implicancias directas para cualquier iniciativa de aprovechamiento productivo.

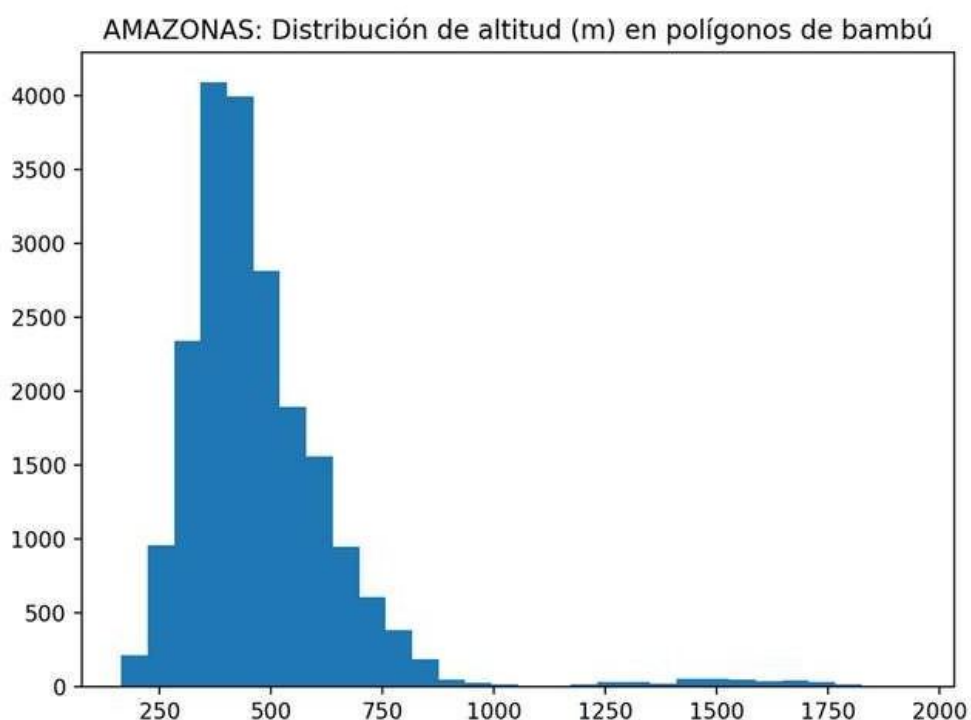
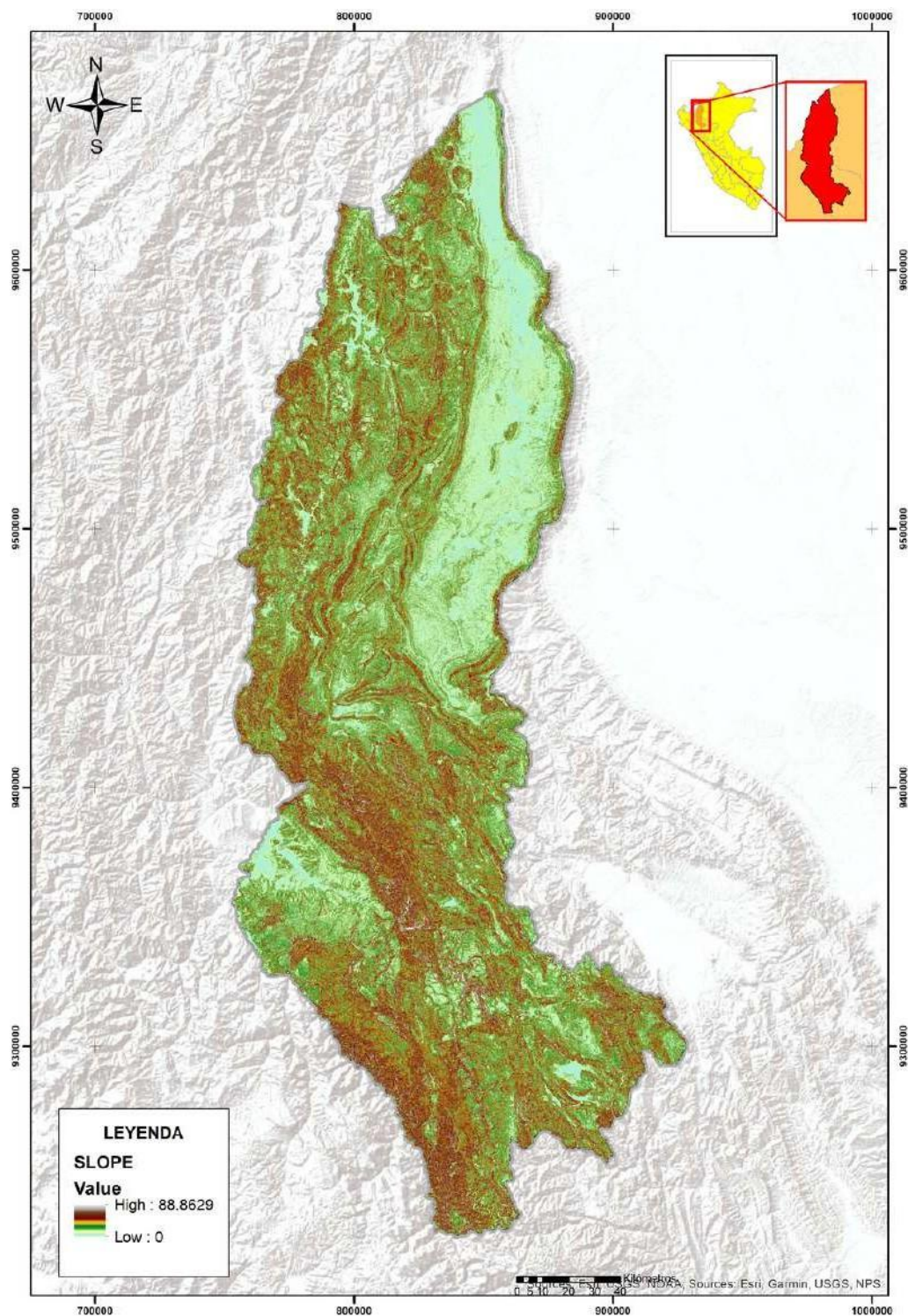


Figura 31: Distribución del rango altitudinal en la región Amazonas

Mapa 16: Variación altitudinal del territorio de la región Amazonas



MAPA DE PENDIENTES EN EL DEPARTAMENTO DE AMAZONAS		
	Escala: 1:1,400,000	Fecha: Noviembre 2025
DATUM: Sistema Geodésico Mundial (WGS 84) Proyección: Universal Transversa de Mercator (UTM) Zona: 17 Sur del Estereode Internacional Intervalo de cuadrícula: 10000 m		01
Elaborado por: INBAR (2025)		

FUENTES
SLOPE
Clasificación de Bambú: INBAR
Clasificación de otras coberturas: Mapbiomas
Hidrografía: ANA
Límites distrital, provincial, nacional: IGN
Centros poblados: MINEDU
Imagen Satelital: Sentinel 2 2024
Resolución de imagen: 10 m

4.3.4. Rangos de precipitación y temperatura de la especie

En términos climáticos, Amazonas presenta una precipitación anual mediana de 1 514 mm, muy superior a Piura y Cajamarca, y una temperatura máxima anual mediana de 30,8 °C, configurando un ambiente cálido y altamente húmedo.

Estas condiciones favorecen un crecimiento vigoroso del bambú, pero también refuerzan su papel principalmente ecológico, asociado a la protección de cuencas, estabilización de laderas y restauración de paisajes degradados. Si bien existe potencial productivo localizado, este se encuentra fuertemente condicionado por la topografía, la logística y el acceso, lo que requiere enfoques de manejo diferenciados y adaptados al contexto amazónico.

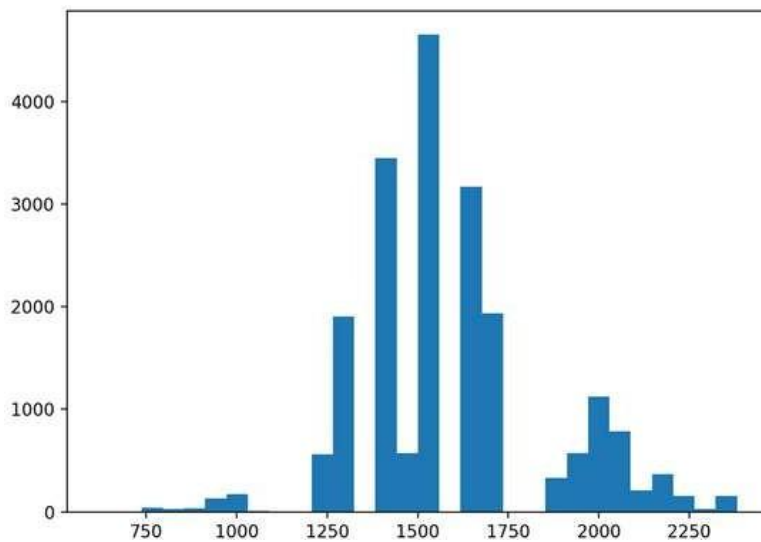


Figura 33: Distribución espacial del rango de precipitación (mm) en la región Amazonas

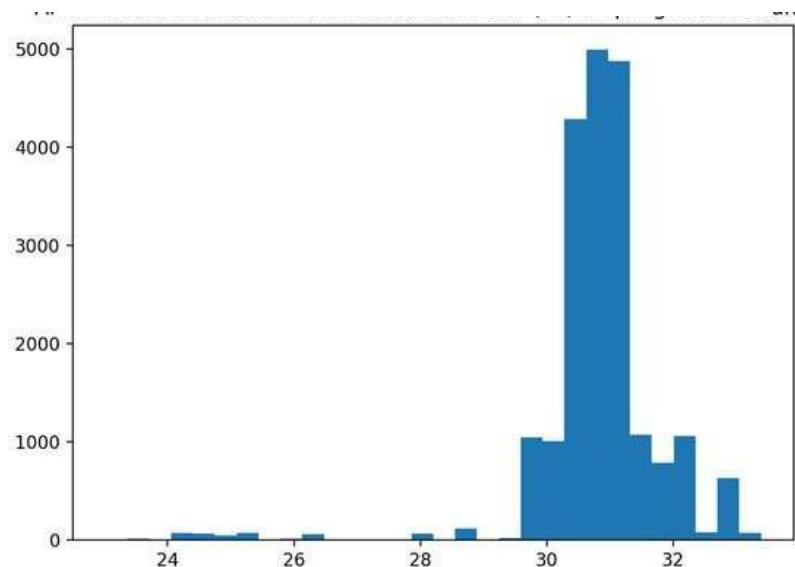
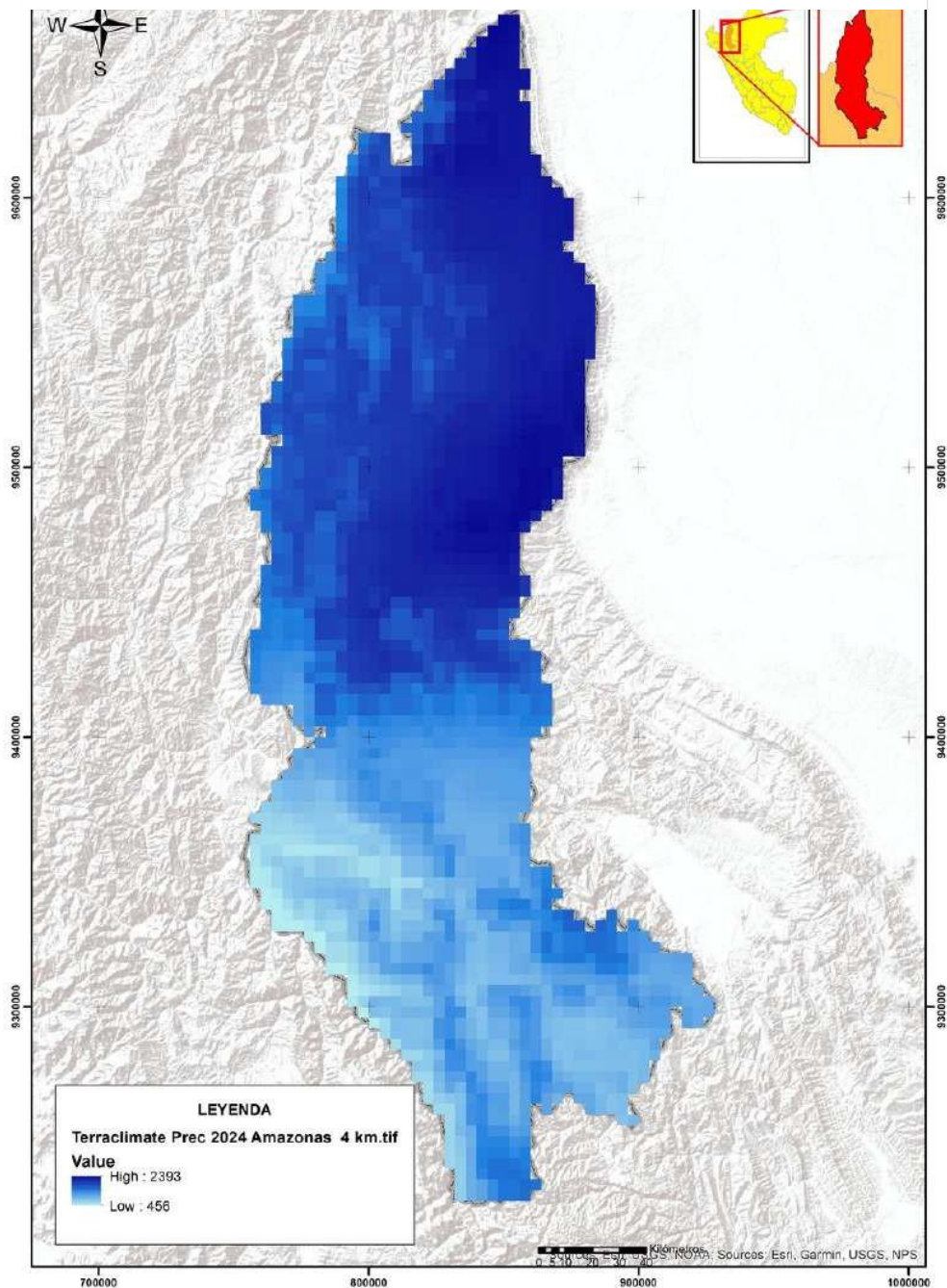


Figura 32: Distribución espacial de la temperatura máxima anual en la región Amazonas

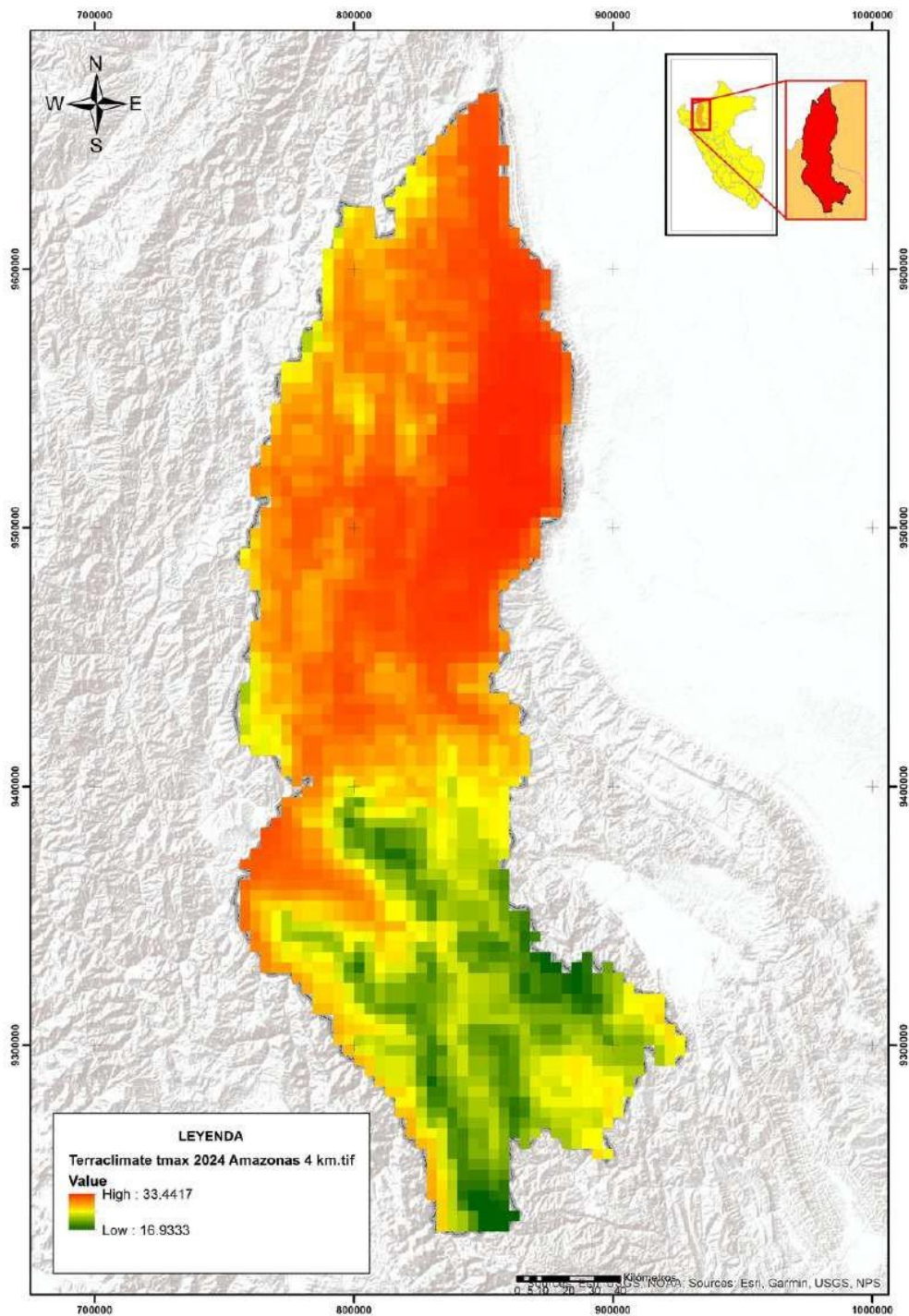
Mapa 17: Variación espacial de la precipitación en la región Amazonas



MAPA DE PRECIPITACIÓN EN EL DEPARTAMENTO DE AMAZONAS	
Escala: 1:1.400.000	Fecha: Noviembre 2025
DATUM: Sistema Geodésico Mundial (WGS 84) Proyección: Universal Transversa de Mercator (UTM) Zona: 17 Sur del Esferoide Internacional Intervalo de cuadrícula: 10000 m	03
Elaborado por: INBAR (2025)	

FUENTES Terraclimate Prec 2024 Amazonas 4 km.tif Clasificación de BAMBÚ: INBAR Clasificación de otras cobertura: Mapbiomas Hidrografía: ANA Límites distrital, provincial, nacional: IGN Centros poblados: MINEDU Imagen Satelital: Sentinel 2 2024 Resolución de imagen: 10 m

Mapa 18: Variación espacial de la temperatura máxima anual en la región Amazonas



MAPA DE TEMPERATURA EN EL DEPARTAMENTO DE AMAZONAS	
	Escala: 1:1.400.000 Fecha: Noviembre 2025 DATUM: Sistema Geodésico Mundial (WGS 84) Proyección: Universal Transversa de Mercator (UTM) Zona: 17 Sur del Esferoide Internacional Intervalo de cuadrícula: 10000 m Elaborado por: INBAR (2025)
	01

FUENTES
Terraclímate tmax 2024 Amazonas 4 km.tif
Clasificación de Bambú: INBAR
Clasificación de otras coberturas: Mapbiomas
Hidrografía: ANA
Límites distrital, provincial, nacional: IGN
Centros poblados: MINEDU
Imagen Satelital: Sentinel 2 2024
Resolución de imagen: 10 m

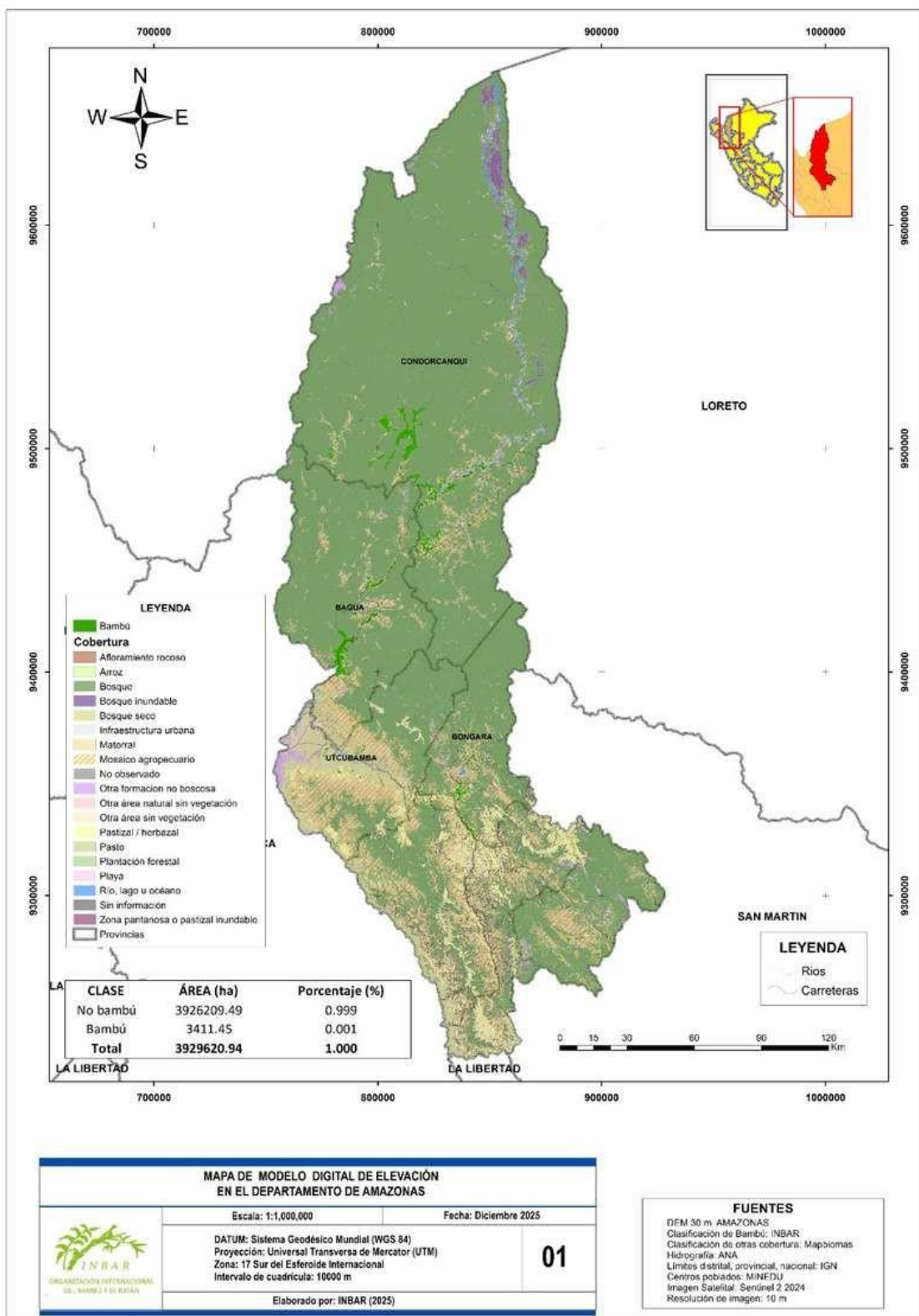
4.3.5. Asociación con otras coberturas

En el departamento de Amazonas, la asociación del bambú con otras coberturas se interpreta dentro de una matriz territorial predominantemente forestal, donde las coberturas de bosque dominan ampliamente el paisaje, seguidas por mosaicos agropecuarios y, en menor proporción, pastizales/herbazales y bosques inundables. En este contexto, el bambú no se distribuye de manera aislada, sino que se inserta principalmente en ambientes de transición entre bosques y áreas intervenidas, así como en corredores ribereños, aprovechando condiciones de alta humedad y suelos dinámicos. La elevada extensión de coberturas forestales asociadas a la clase No Bambú refuerza que el bambú ocupa nichos específicos dentro de un paisaje mayormente conservado, cumpliendo un rol ecológico complementario más que sustitutivo del bosque.

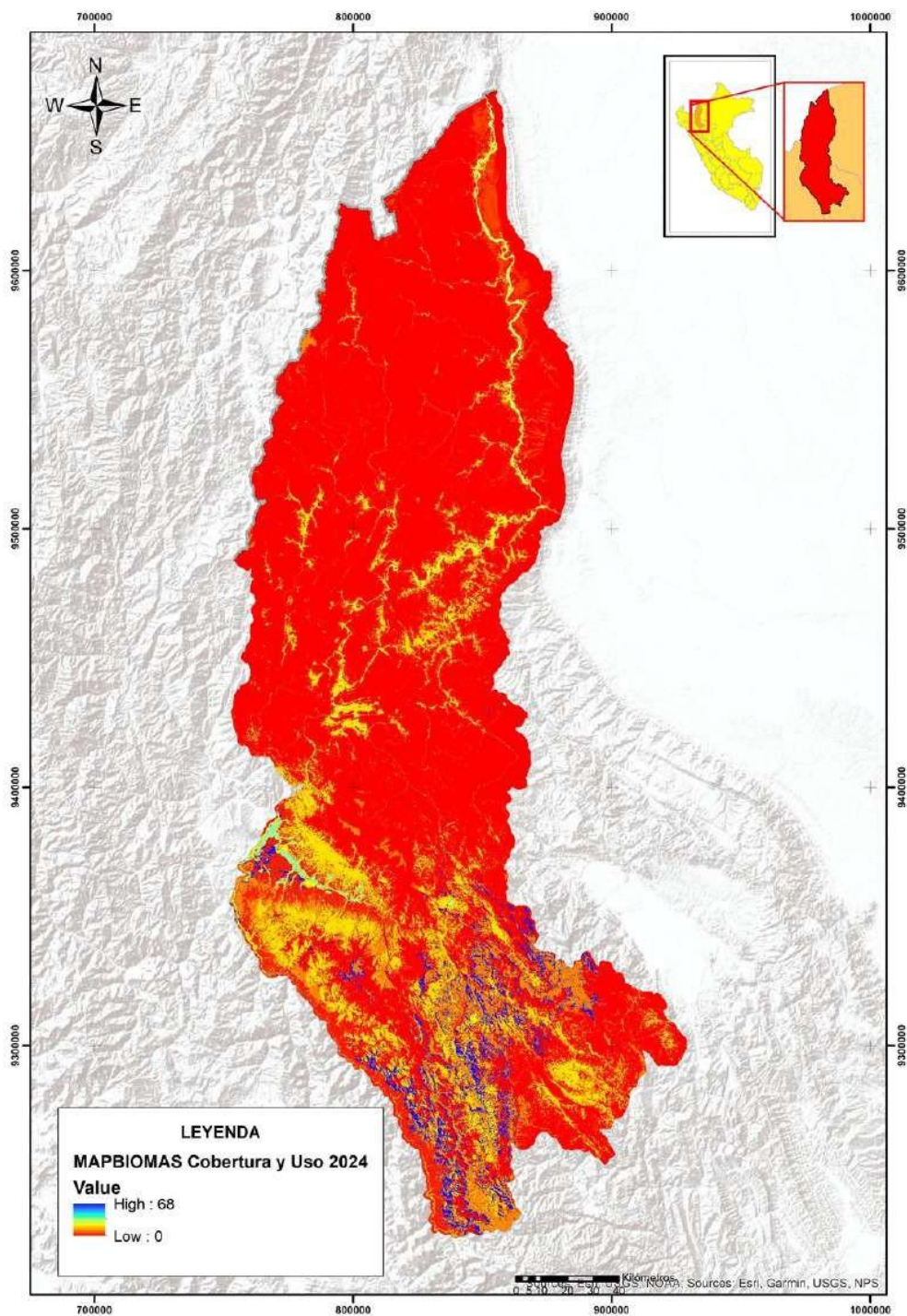
Tabla 13: Asociación entre clase (bambú/no bambú) y tipos de cobertura (MapBiomass) en Amazonas


Clase	Cobertura	Área (ha)
No Bambú	Bosque	2 889 211,59
No Bambú	Mosaico agropecuario	510 037,37
No Bambú	Pastizal / herbazal	168 779,56
No Bambú	Bosque seco	108 665,67
No Bambú	Matorral	97 867,54
No Bambú	Bosque inundable	41 056,71
No Bambú	Otra formación no boscosa	38 525,07
No Bambú	Río, lago u océano	33 582,49
No Bambú	Otra área natural sin vegetación	12 798,03
No Bambú	Arroz	9 188,06
No Bambú	Infraestructura urbana	6 791,58
No Bambú	Otros	11 253,94

Mapa 19: Distribución de las áreas de bambú y otros tipos de cobertura según MapBiomás en el departamento de Amazonas



Mapa 20: Cobertura y uso del suelo según MapBiomas en el departamento de Amazonas



MAPA DE MAPBIOMAS COBERTURA Y USO EN EL DEPARTAMENTO DE AMAZONAS	
	Escala: 1:1.400.000 Fecha: Noviembre 2025 DATUM: Sistema Geodésico Mundial (WGS 84) Proyección: Universal Transversa de Mercator (UTM) Zona: 17 Sur del Esferoide Internacional Intervalo de cuadrícula: 10000 m Elaborado por: INBAR (2025)
	01

FUENTES
MAPBIOMAS Cobertura y Uso 2024 Clasificación de Bambú: INBAR Clasificación de otras coberturas: Mapbiomas Hidrografía: ANA Límites distrital, provincial, nacional: IGN Centros poblados: MINEDU Imagen Satelital: Sentinel 2 2024 Resolución de imagen: 10 m

4.4. Caracterización de la distribución del bambú en el corredor Nororiente

En conjunto, la superficie de bambú en los tres departamentos alcanza aproximadamente 6 434 ha, con 1 561,03 ha en Piura, 1 461,24 ha en Cajamarca y 3 411,45 ha en Amazonas (Tabla 14), consolidando al corredor nororiental como un territorio estratégico para este recurso. La mayor concentración se registra en Amazonas, seguido de Piura y Cajamarca, con una distribución espacial focalizada en núcleos provinciales y distritales prioritarios (Morropón–Yamango, San Miguel–La Florida y Bagua–Aramango), lo que sugiere orientar allí las acciones de manejo, monitoreo y fortalecimiento de la cadena de valor para maximizar la eficiencia técnica y productiva.

La distribución del bambú en el corredor nororiental del Perú responde a gradientes ambientales diferenciados, lo que demanda estrategias de manejo específicas por departamento: Cajamarca presenta las condiciones más equilibradas para un uso productivo sostenible, Piura muestra un contexto más restrictivo orientado a funciones de protección y agroforestería, y Amazonas ofrece condiciones climáticas favorables, aunque con limitaciones de accesibilidad que priorizan enfoques ecológicos y de conservación (Tabla 15).

En Piura, el bambú se distribuye principalmente en altitudes medias a medias-altas (450–1 200 m.s.n.m.), sobre laderas y valles interandinos con pendientes moderadas a altas ($\approx 16^\circ$). Estas condiciones topográficas favorecen su función ecológica en la estabilización de suelos y control de la erosión, más que su aprovechamiento intensivo. Desde el punto de vista climático, Piura presenta un ambiente seco y cálido, con precipitaciones entre 400 y 800 mm anuales y temperaturas máximas de 27 a 30 °C, donde la disponibilidad hídrica constituye el principal factor limitante.

En contraste, Cajamarca muestra una mayor amplitud altitudinal (369–2 129 m.s.n.m.), pendientes bajas a moderadas ($\approx 9^\circ$) y un régimen climático más equilibrado, con precipitaciones de 680 a 800 mm y temperaturas máximas entre 27 y 28 °C, lo que favorece una mayor continuidad espacial y un mejor potencial para el manejo productivo del bambú.

En Amazonas, el bambú se desarrolla en altitudes bajas a medias (164–1 944 m.s.n.m.), bajo una topografía más accidentada y pendientes altas ($\approx 20^\circ$) que condicionan la accesibilidad. El clima es cálido y muy húmedo, con precipitaciones elevadas (1 300 –1 600 mm anuales) y temperaturas máximas de 30 a 32 °C, lo que promueve un crecimiento vigoroso del bambú, principalmente asociado a bosques húmedos, bosques secundarios y zonas ribereñas, aunque con una distribución espacial más fragmentada.

Tabla 14: Resumen de distribución de bambú (ha) en las regiones estudiadas

Departamento	Área (ha)	Provincia con mayor área	Distrito con mayor área
Piura	1 561.03	Morropón	Yamango
Cajamarca	1 461.24	San Miguel	La Florida
Amazonas	3 411.45	Bagua	Aramango

Tabla 15: Caracterización del bambú en las regiones estudiadas

Factor	Piura	Cajamarca	Amazonas
Altitud promedio del bambú	Media–alta (mediana ≈ 916 m.s.n.m.)	Media (mediana ≈ 982 m.s.n.m.)	Baja–media (mediana ≈ 437 m.s.n.m.)
Rango altitudinal predominante	450– 1 200 m.s.n.m.	369 – 2 129 m	164 – 1 944 m
Pendiente predominante	Moderada–alta (mediana ≈ 16°)	Baja–moderada (mediana ≈ 9,4°)	Alta (mediana ≈ 20°)
Implicancias de pendiente	Limitaciones para mecanización; rol en estabilización de laderas	Mayor accesibilidad relativa; favorable para manejo y cosecha	Accesibilidad restringida; manejo principalmente manual
Precipitación anual media asociada	Baja–media (mediana ≈ 559 mm)	Media (mediana ≈ 712 mm)	Alta (mediana ≈ 1 514 mm)
Rango de precipitación predominante	400 - 800 mm anuales	680 - 800 mm anuales	1 300 – 1 600 mm anuales
Temperatura máxima anual asociada	Alta (mediana ≈ 28,8 °C)	Moderada (mediana ≈ 27,6 °C)	Alta (mediana ≈ 30,8 °C)
Rango de temperatura predominante	27 °C - 30 °C	27 °C - 28 °C	30 °C - 32 °C
Condición climática dominante	Relativamente seca y cálida	Balance hídrico favorable	Cálida y muy húmeda
Coberturas asociadas al bambú	Mosaicos agropecuarios, áreas ribereñas, laderas intervenidas	Sistemas agroforestales, bosques secundarios, agricultura mixta	Bosques húmedos, bosques secundarios, áreas ribereñas
Continuidad espacial del bambú	Media, con fragmentación	Alta, con núcleos bien definidos	Variable; núcleos grandes pero aislados
Rol ecológico dominante	Protección de suelos, control de erosión, agroforestería	Producción sostenible y de protección	Conservación, restauración, protección de cuencas
Potencial productivo relativo	Medio–bajo (condicionado por agua y pendiente)	Alto (mejor combinación ambiental y accesibilidad)	Localizado y condicionado por logística
Riesgos ambientales principales	Estrés hídrico, degradación de laderas	Expansión agrícola sin manejo	Erosión, pérdida de cobertura por cambios de uso
Enfoque recomendado de manejo	Agroforestal adaptativo y protección	Manejo productivo sostenible y cadena de valor	Manejo ecológico y restauración con enfoque territorial

5. Conclusiones

El estudio permitió identificar y cuantificar la distribución del bambú (*Guadua sp.*) en los departamentos de Piura, Cajamarca y Amazonas, registrándose superficies comparables que confirman al corredor nororiental del Perú como una de las principales áreas estratégicas del país para este recurso, tanto a nivel ecológico como productivo y territorial.

La distribución espacial del bambú presenta una marcada concentración en unidades territoriales específicas, destacando las provincias de Morropón, San Miguel y Bagua, así como los distritos de Yamango, La Florida y Aramango, los cuales constituyen los principales núcleos de presencia del bambú en cada departamento.

El análisis ambiental evidenció que la presencia y distribución del bambú responde a patrones ecológicos consistentes, asociados a rangos específicos de altitud, pendiente, precipitación y temperatura, así como a paisajes intervenidos como mosaicos agropecuarios, bosques secundarios y zonas ribereñas, demostrando su alta adaptabilidad a sistemas agroforestales.

Las condiciones ecológicas varían entre departamentos, con ambientes más restrictivos en Piura, escenarios más equilibrados y favorables en Cajamarca, y contextos altamente húmedos, pero topográficamente complejos en Amazonas, lo que explica las diferencias en la distribución espacial y define oportunidades y limitaciones diferenciadas para su manejo sostenible.

El presente estudio demuestra que el uso integrado de imágenes satelitales de mediana y alta resolución, junto con técnicas de clasificación supervisada mediante aprendizaje automático (Random Forest) en la plataforma Google Earth Engine, constituye una metodología robusta, replicable y eficiente para la identificación y cartografía de plantaciones de bambú (*Guadua sp.*) en el corredor económico nororiental del Perú.

La comparación entre sensores evidenció la complementariedad entre imágenes de mediana resolución (Sentinel-2 y Landsat 8) y alta resolución (PlanetScope). Mientras que Sentinel-2 mostró mayor estabilidad radiométrica y mejor desempeño general en la clasificación regional, PlanetScope permitió una delimitación espacial más precisa y la detección de cambios recientes en el uso del suelo, como la conversión o pérdida de plantaciones de bambú.

La validación del mapa mediante matrices de confusión e índice de Kappa, utilizando una combinación de puntos de campo y gabinete, valores de Kappa entre 0,78 y 0,89, lo que indica un nivel de concordancia sustancial y respalda la confiabilidad del producto cartográfico para fines de planificación.

Los resultados obtenidos constituyen una línea base técnica y cartográfica interesante para el monitoreo del bambú en el nororiente peruano y representan un insumo clave para la

planificación territorial, la gestión sostenible del recurso, la formulación de políticas públicas y el fortalecimiento de la cadena de valor del bambú con enfoque productivo e industrial.

6.Recomendaciones

Se recomienda priorizar los distritos con mayor concentración de bambú Yamango (Piura), La Florida (Cajamarca) y Aramango (Amazonas) como áreas focales para acciones de monitoreo, validación ampliada, manejo sostenible y evaluación del potencial productivo del bambú.

En Cajamarca, donde se presentan las condiciones ambientales más equilibradas y una alta continuidad espacial del bambú, se sugiere promover iniciativas orientadas al desarrollo de la cadena de valor, incluyendo manejo silvícola, aprovechamiento sostenible y articulación con mercados locales y regionales.

En Piura, se recomienda orientar el manejo del bambú hacia sistemas agroforestales adaptativos y funciones de protección ambiental, considerando las limitaciones hídricas y de pendiente que caracterizan al departamento.

Para futuras clasificaciones, se sugiere optimizar el uso de imágenes Sentinel-2 restringiendo el análisis a periodos específicos del año (por ejemplo, estaciones secas o los últimos meses del año), a fin de mejorar la discriminación del bambú frente a otras coberturas herbáceas y reducir errores asociados a la estacionalidad.

Se recomienda mantener y fortalecer el uso complementario de imágenes de alta resolución (como PlanetScope) en zonas priorizadas, especialmente en provincias y distritos de interés productivo, para detectar cambios recientes en la cobertura, evaluar pérdidas de plantaciones y apoyar procesos de fiscalización, restauración o reconversión productiva.

Es necesario ampliar y sistematizar el levantamiento de datos de campo, especialmente en provincias con menor cobertura de validación, con el objetivo de fortalecer futuros procesos de validación y reducir la incertidumbre en zonas de difícil acceso o alta complejidad paisajística.

Se recomienda generar un estudio de calidad de sitio del bambú en base a los parámetros climáticos y topográficos asociados obtenidos en este estudio con el fin de zonificar áreas potenciales para el establecimiento y expansión del bambú.

Los resultados obtenidos pueden ser usados como insumos técnicos para proyectos de restauración y manejo del recurso, así como para la planificación territorial y el impulso de una bioeconomía sostenible en el Perú.

Finalmente, se sugiere replicar y adaptar esta metodología en otras regiones del país con presencia potencial de bambú, como parte del proceso de construcción de un Inventario Nacional de Bambú.

7. Referencias

- Bryson Cabrera, M. L. (2023). Evaluación del vigor de árboles aplicando índices de vegetación a imágenes captadas remotamente en la Universidad Nacional Agraria La Molina. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/6266>
- Congalton, R. G. (1991). A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, 37(1), 35–46.
- Congalton, R. G., & Green, K. (2009). *Assessing the accuracy of remotely sensed data: Principles and practices* (2nd ed.). CRC Press.
- FAO. (2018). *National forest inventory: Field manual template*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO. (2020). *Global forest resources assessment 2020*. <https://doi.org/10.4060/ca9825en>
- Foody, G. M. (2002). Status of land cover classification accuracy assessment. *Remote Sensing of Environment*, 80(1), 185–201.
- García Sierra, J. H., & Camargo García, J. C. (2010). Condiciones de calidad de *Guadua angustifolia* para satisfacer las necesidades del mercado en el Eje Cafetero de Colombia. *Recursos Naturales y Ambiente*, (61), 67–76.
- Ma, M., Liu, J., Liu, M., Zeng, J., & Li, Y. (2021). Tree species classification based on Sentinel-2 imagery and Random Forest classifier in the eastern regions of the Qilian Mountains. *Forests*, 12(12), 1736. <https://doi.org/10.3390/f12121736>
- Vorontsova, A., Clark, L. G., Dransfield, J., Govaerts, R., & Baker, W. J. (2017). The global distribution of bamboos: Assessing correlates of introduction and invasion. *Journal of Biogeography*, 44(3), 1–12. <https://doi.org/10.1111/jbi.12882>
- Yebeyen, D., Hailu, B. T., Zewdie, W., Abera, T., Sileshi, G. W., Getachew, M., & Nemomissa, S. (2024). Improved mapping of highland bamboo forests using Sentinel-2 time series and machine learning in Google Earth Engine. *Geocarto International*, 39(1). <https://doi.org/10.1080/10106049.2024.2364680>



www.inbar.int
@INBAROfficial