

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL Y AMBIENTAL



**Análisis multicriterio aplicado a la identificación de áreas aptas para la producción de
Bambú (*Guadua angustifolia*) en la región Cajamarca.**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO FORESTAL Y AMBIENTAL**

AUTOR

Bach. Alex Jhonatan Campos Idrogo

ASESOR

M.Sc. Duberlí Geomar Elera Gonzáles



M.Sc. Duberlí Geomar Elera Gonzáles
Docente UNACH

CHOTA – PERÚ

AGOSTO, 2026



“AÑO “Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia”

CONSTANCIA N° 01-2026-DGEG

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD Y USO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL

El que suscribe, en calidad de asesor de tesis, deja constancia que el informe final de tesis titulado:

Análisis multicriterio aplicado a la identificación de áreas aptas para la producción de Bambú (*Guadua angustifolia*) en la región Cajamarca

Elaborado por:

Alex Jhonatan Campos Idrogo

BACHILLER en Ingeniería Forestal y Ambiental de la Facultad de Ciencias Agrarias, fue sometido a la evaluación mediante el **software de similitud**, considerando el contenido comprendido desde el resumen hasta las referencias bibliográficas.

El resultado obtenido es:

Porcentaje de similitud	Porcentaje de uso de Inteligencia Artificial	Criterio de originalidad
7%	*% (menor al 20%)	Si cumple
Literal e) del artículo 27 del Reglamento de Grados y Títulos , aprobado mediante Resolución de Comisión Organizadora N.º 770-2025-UNACH .		

Se adjunta el reporte de evaluación de originalidad emitido por el software de similitud.

Chota, 21 de setiembre de 2026.


Elera Gonzales Duberli Geomar
Asesor



Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por **Turnitin**. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Alex Jhonatan Campos Idrogo
Título del ejercicio: Proyectos e Informes de Tesis 2026
Título de la entrega: Informe Final de tesis v1
Nombre del archivo: INFORME_FINAL_DE_TESIS_AJCI.pdf
Tamaño del archivo: 1.49M
Total páginas: 78
Total de palabras: 14,966
Total de caracteres: 90,872
Fecha de entrega: 21-sept-2026 02:33p. m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega: 3038410109

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL Y AMBIENTAL



Análisis multicriterio aplicado a la identificación de áreas aptas para la producción de
Bambú (*Guadua angustifolia*) en la región Cajamarca.
TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO FORESTAL Y AMBIENTAL

AUTOR
Bach. Alex Jhonatan Campos Idrogo

ASESOR
M.Sc. Duberlí Geomar Elera Gonzáles



CHOTA - PERÚ

AGOSTO, 2026

M.Sc. Duberlí Geomar Elera Gonzáles
Asesor de tesis

Informe Final de tesis v1

por Alex Jhonatan Campos Idrogo

Fecha de entrega: 21-sept-2026 02:33p. m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 3038410109

Nombre del archivo: INFORME_FINAL_DE_TESIS_AJCI.pdf (1.49M)

Total de palabras: 14966

Total de caracteres: 90872

Informe Final de tesis v1

INFORME DE ORIGINALIDAD

7%	7%	2%	2%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	dspace.espoch.edu.ec	2%
	Fuente de Internet	
2	repositorio.unach.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	
3	www.csic.es	1%
	Fuente de Internet	
4	poz.unexpo.org	<1%
	Fuente de Internet	
5	myb.ojs.inecol.mx	<1%
	Fuente de Internet	
6	repositorio.serfor.gob.pe	<1%
	Fuente de Internet	
7	e.exam-10.com	<1%
	Fuente de Internet	
8	docplayer.es	<1%
	Fuente de Internet	
9	repositorio.unah.edu.pe	<1%
	Fuente de Internet	
10	repository.uniminuto.edu	<1%
	Fuente de Internet	
11	es.readkong.com	<1%
	Fuente de Internet	
12	Submitted to Universidad Estatal Amazonica-	<1%
	Trabajo del estudiante	
13	tesis.usat.edu.pe	<1%
	Fuente de Internet	
14	Moschella Miloslavich, Paola. "Variacion y proteccion de humedales costeros frente a procesos de urbanizacion: Casos Ventanilla y Puerto Viejo.", Pontificia Universidad Catolica del Peru - CENTRUM Catolica (Peru), 2020	<1%
	Publicación	

15	www.universitatcarlemany.com Fuente de Internet	<1 %
16	Submitted to Universidad Nacional Abierta y a Distancia, UNAD,UNAD Trabajo del estudiante	<1 %
17	Submitted to Universidad Nacional de Cajamarca Trabajo del estudiante	<1 %
18	hdl.handle.net Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas
Excluir bibliografía

Activo
Activo

Excluir coincidencias

< 20 words

Alex Jhonatan Campos Idrogo

Informe Final de tesis v1

-  Proyectos e Informes de Tesis 2026
-  Proyectos e Informes de Tesis 2024-2026
-  Universidad Nacional Autonoma de Chota

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::1:3656187346

Fecha de entrega

21 sep 2026, 2:32 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

21 sep 2026, 2:46 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

INFORME_FINAL_DE_TESIS_AJCI.pdf

Tamaño del archivo

1.5 MB

78 páginas

14.966 palabras

90.872 caracteres

*% detectado como IA

La detección de IA incluye la posibilidad de que haya falsos positivos. Aunque cierto texto en esta entrega se generó probablemente con IA, los puntajes inferiores al umbral del 20 % no aparecen porque tienen una mayor probabilidad de falsos positivos.

Precaución: Se necesita revisión.

Es esencial comprender los límites de la detección de IA antes de tomar decisiones acerca del trabajo del estudiante. Te alentamos a obtener más información acerca de las funciones de detección de IA de Turnitin antes de usar la herramienta.

Aviso legal

Nuestra evaluación de escritura con IA está diseñada para ayudar a los académicos a identificar texto que podrían haberse preparado mediante una herramienta de IA generativa. Es posible que nuestra evaluación de escritura con IA no siempre sea precisa (existe la posibilidad de que identifique erróneamente redacciones probablemente generadas por humanos como generadas por IA, y redacciones probablemente generadas por IA como generadas por humanos), por lo que no debe usarse como único fundamento para aplicar sanciones a un estudiante. Para determinar si es un caso de deshonestidad académica, se necesita de un escrutinio mayor y el juicio humano, junto con la aplicación de las políticas académicas específicas de la organización.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
VICEPRESIDENCIA ACADÉMICA
Reglamento de Grados y Títulos



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE INFORME FINAL DE TESIS

REG. N° 057-2026-FCA

El jurado evaluador designado con RESOLUCIÓN DE COORDINACIÓN/DECANATO DE FACULTAD N.° 336-2026-FCA/UNACH:

Nombres y apellidos	Cargo
Mtr. Leyla Catherine Alarcón Alarcón	Presidente
Dra. Yuli Anabel Chávez Juanito	Secretario
Dra. Mariela Núñez Figueroa	Vocal

De la tesis titulada:

Análisis multicriterio aplicado a la identificación de áreas aptas para la producción de Bambú (*Guadua angustifolia*) en la región Cajamarca.

Que ha sustentado el(los) Bachiller (es):

Nombres y apellidos	DNI
Alex Jhonatan Campos Idrogo	76508276

Para obtener el título profesional de:

Ingeniero Forestal y Ambiental

Acuerdan por:

☐	Unanimidad	☒	Mayoría
--------------------------	------------	-------------------------------------	---------

☒	Aprobar	☐	Desaprobar
-------------------------------------	---------	--------------------------	------------

Otorgando la calificación de:

☒	Aprobado
☐	Excelente
☐	Bueno
☒	Regular

☐	Desaprobado
--------------------------	-------------

Colpa Matara 25 de agosto del 2026

Mtr. Leyla Catherine Alarcón Alarcón
Presidente

Dra. Yuli Anabel Chávez Juanito
Secretario

Dra. Mariela Núñez Figueroa
Vocal

M.Sc. Duberli Geomar Elera Gonzáles
Asesor

Dedicatoria

A Dios, por ser la guía constante en mi camino y brindarme la fortaleza para alcanzar este objetivo. A mi padre, Néstor Campos Cieza, por su amor incondicional, su esfuerzo y su apoyo inquebrantable en cada etapa de mi formación. A mis hermanos, Leydi Maritza, Elvin Joel y Diana Yuleysi, por confiar en mi capacidad incluso en momentos de duda y por enseñarme el valor de la fortaleza. Finalmente, a mi esposa, Luz Helita Díaz Delgado, cuyo respaldo constante fue fundamental para la consecución de este logro.

Agradecimientos

Expreso mi profunda gratitud a Dios por otorgarme la fortaleza y sabiduría necesarias para transitar este camino; asimismo, extendiendo un especial reconocimiento a la Universidad Nacional Autónoma de Chota y a la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental por brindarme una formación académica y humana de excelencia. Agradezco sinceramente a mi asesor, el M.Sc. Duberlí Geomar Elera Gonzáles, cuya guía experta, paciencia y valiosos conocimientos fueron fundamentales para la culminación exitosa de esta investigación. Finalmente, hago partícipes de este logro a mis docentes y compañeros, pues cada reto superado y cada esfuerzo compartido han sido pilares esenciales en la consecución de esta meta profesional en el campo.

Índice de Contenidos

Dedicatoria.....	2
Agradecimientos	3
Índice de Tablas	8
Índice de Figuras.....	9
Resumen.....	11
Abstract	12
CAPÍTULO I . Introducción	13
1.1. Planteamiento del Problema	13
1.2. Justificación	14
1.3. Objetivos.....	15
1.3.1. <i>Objetivo General</i>	15
1.3.2. <i>Objetivos Específicos</i>	15
CAPITULO II. Marco Teórico	16
2.1. Antecedentes.....	16
2.2. Bases Teóricas	16
2.2.1. <i>Bambú</i>	16
2.2.2. <i>Clasificación Taxonómica</i>	17
2.2.3. <i>Descripción Botánica</i>	17
2.2.4. <i>Importancia del Bambú</i>	18
2.2.5. <i>Requerimientos Ambientales del Bambú</i>	19
2.3. Definiciones conceptuales	21
2.3.1. <i>Dato espacial</i>	21
2.3.2. <i>Variables topográficas</i>	21
2.3.3. <i>Variables edáficas</i>	21
2.3.4. <i>Variables climáticas</i>	22
2.3.5. <i>Aptitud o calidad de sitio</i>	22
2.3.6. <i>Análisis espacial</i>	22

2.3.7.	<i>ArcGis 10.8</i>	22
2.3.8.	<i>Superposición</i>	23
CAPÍTULO III . Metodología		23
3.1.	Tipo, diseño, nivel y enfoque de investigación	23
3.1.1.	<i>Tipo de investigación</i>	23
3.1.2.	<i>Diseño de investigación</i>	23
3.1.3.	<i>Nivel de investigación</i>	23
3.1.4.	<i>Enfoque de diseño de investigación</i>	24
3.2.	Ubicación, población, muestra, muestreo y unidad de análisis	24
3.2.1.	<i>Ubicación</i>	24
3.2.2.	<i>Población</i>	26
3.2.3.	<i>Muestra</i>	26
3.2.4.	<i>Muestreo</i>	26
3.2.5.	<i>Unidad de Análisis</i>	26
3.3.	Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.....	26
3.3.1.	<i>Técnicas de Recolección de Datos</i>	26
3.3.2.	<i>Instrumentos de Recolección de Datos</i>	27
3.4.	Hipótesis	27
3.5.	Operacionalización de Variables	27
3.5.1.	<i>Variable Dependiente</i>	27
3.5.2.	<i>Variables Independientes</i>	27
3.6.	Procedimiento de Recolección de Datos	28
3.6.1.	<i>Jerarquización de Criterios y Sub Criterios del Problema de Decisión.</i>	28
3.6.2.	<i>Obtención de Variables en Google Earth Engine (GEE)</i>	29
3.6.3.	<i>Definición de Requerimientos Ambientales de la Especie Bambú</i>	30
3.6.4.	<i>Modelado de Aptitud Mediante la Asignación de Pesos a las Variables</i>	31
3.6.5.	<i>Generación del Índice de Aptitud Ponderado</i>	33
3.6.6.	<i>Reclasificación y Filtrado del Resultado</i>	34

3.6.7.	<i>Análisis de Sensibilidad de Pesos</i>	35
3.6.8.	<i>Generación del Mapa Final</i>	36
3.7.	Procedimientos de Análisis de Datos	36
3.8.	Material y Equipos.....	36
3.8.1.	<i>ArcGis 10.8</i>	36
3.8.2.	<i>Google Earth Engine (GEE)</i>	36
3.8.3.	<i>Capas Climáticas</i>	37
3.8.4.	<i>Mapas Cartográficos</i>	37
3.8.5.	<i>Laptop con Procesador i7</i>	37
3.9.	<i>Aspectos Éticos</i>	37
CAPÍTULO IV . Resultados y Discusiones		38
4.1.	Descripción de Resultados.....	38
4.1.1.	Identificación de factores ambientales (clima, suelo y topografía) que influyen en la producción potencial de Bambú (<i>Guadua angustifolia</i>) en la región Cajamarca.	38
4.1.2.	Localización y extensión de las áreas de producción potencial de bambú (<i>Guadua angustifolia</i>), por los factores ambientales (clima, suelo y topografía) en la región Cajamarca.	41
4.1.2.1.	Clima	41
4.1.2.2.	Suelo	44
4.1.2.3.	Topografía	46
4.1.3.	Localización y extensión de las áreas de producción potencial de bambú (<i>Guadua angustifolia</i>) en la región Cajamarca.	49
4.1.4.	Análisis de sensibilidad de pesos.....	53
4.2.	Contrastación de hipótesis´	57
4.3.	Discusión de resultados	59
CAPÍTULO V. Conclusiones y Recomendaciones.....		63
CAPÍTULO VI. Referencias		65

CAPÍTULO VII. ANEXOS.....	77
---------------------------	----

Índice de Tablas

<i>Tabla 1 Operacionalización de variables.....</i>	<i>28</i>
<i>Tabla 2 Variables obtenidas en Google Earth Engine (GEE).....</i>	<i>30</i>
<i>Tabla 3 Requerimientos ambientales de la especie bambú</i>	<i>31</i>
<i>Tabla 4 Asignación de pesos a las variables</i>	<i>33</i>
<i>Tabla 5 Valores del índice de aptitud ponderado.....</i>	<i>34</i>
<i>Tabla 6 Reclasificación del índice de aptitud.....</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 7 Criterios y subcriterios ambientales que influyen en la producción potencial del bambú (Guadua angustifolia).....</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 8 Aptitud forestal de las áreas de producción potencial de bambú (Guadua angustifolia) en la región Cajamarca influenciados por los factores climáticos.</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 9 Aptitud forestal de las áreas de producción potencial de bambú (Guadua angustifolia) en la región Cajamarca influenciados por los factores edáficos.....</i>	<i>45</i>
<i>Tabla 10 Aptitud forestal de las áreas de producción potencial de bambú (Guadua angustifolia) en la región Cajamarca influenciados por los factores topográficos</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 11 Localización y extensión de las áreas de producción potencial de bambú (Guadua angustifolia) en la región Cajamarca.....</i>	<i>51</i>
<i>Tabla 12 Áreas aptas para la producción de bambú.....</i>	<i>58</i>

Índice de Figuras

<i>Figura 1 Mapa de localización del departamento Cajamarca.....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 2 Jerarquización de criterios y sub criterios del problema de decisión.....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 3 Factores ambientales que influncian en la producción potencial del bambú (Guadua angustifolia)</i>	<i>39</i>
<i>Figura 4 Localización y extensión de las áreas de producción potencial de bambú (Guadua angustifolia) en la región Cajamarca influenciados por los factores climáticos.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 5 Climograma de las provincias con mayor cantidad de áreas de producción potencial de bambú (Guadua angustifolia) en la región Cajamarca influenciados por los factores climáticos</i>	<i>42</i>
<i>Figura 6 Localización y extensión de las áreas de producción potencial de bambú (Guadua angustifolia) en la región Cajamarca influenciados por los factores edáficos.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 7 Localización y extensión de las áreas de producción potencial de bambú (Guadua angustifolia) en la región Cajamarca influenciados por los factores topográficos.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 8 Histograma de frecuencia con de distribución de pixeles de la variable altitud en la región de Cajamarca</i>	<i>47</i>
<i>Figura 9 Histograma de frecuencia con de distribución de pixeles de la variable pendiente en la región de Cajamarca</i>	<i>47</i>
<i>Figura 10 Localización y extensión de las áreas de producción potencial de bambú (Guadua angustifolia) en la región Cajamarca.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 11 Proporción de las áreas de producción potencial de bambú (Guadua angustifolia) por provincia en la región Cajamarca.....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 12 Aptitud de áreas en porcentaje a nivel regional.....</i>	<i>52</i>

<i>Figura 13 Análisis de sensibilidad de la localización y extensión de las áreas de producción potencial de bambú (Guadua angustifolia) en la región Cajamarca, peso -10</i>	<i>53</i>
<i>Figura 14 Análisis de sensibilidad de la localización y extensión de las áreas de producción potencial de bambú (Guadua angustifolia) en la región Cajamarca, peso base</i>	<i>54</i>
<i>Figura 15 Análisis de sensibilidad de la localización y extensión de las áreas de producción potencial de bambú (Guadua angustifolia) en la región Cajamarca, peso +10</i>	<i>55</i>
<i>Figura 16 Análisis de sensibilidad de pesos ($\pm 10\%$) por subcriterios de la localización y extensión de las áreas de producción potencial de bambú (Guadua angustifolia) en la región Cajamarca</i>	<i>56</i>
<i>Figura 17 Análisis de sensibilidad de pesos ($\pm 10\%$) por aptitud de áreas de la localización y extensión de las áreas de producción potencial de bambú (Guadua angustifolia) en la región Cajamarca.....</i>	<i>56</i>

Resumen

El objetivo de esta investigación fue determinar la localización y extensión de las áreas con potencial productivo para bambú (*Guadua angustifolia*) en la región Cajamarca, Perú. La metodología empleada utilizó análisis multicriterio espacial definido por 3 criterios (climáticos, edáficos y topográficos), dividido en 8 subcriterios (precipitación, temperatura máxima y mínima, potencial de hidrogeno – pH, profundidad, textura, altitud y pendiente) generados mediante el uso del software ArcGIS 10.8, para procesar datos geográficos de fuentes oficiales. El estudio abarcó la totalidad de la superficie regional, empleando un muestreo sistemático basado en unidades de análisis de píxeles ráster para evaluar las variables. Los resultados revelaron que la región posee una aptitud predominantemente favorable para esta especie; las zonas aptas cuentan con una precipitación media de 2 350 mm/año y temperaturas óptimas que cubren el 74,54% del territorio con aptitudes media y alta. En cuanto al suelo, aunque el 51,24% presenta limitaciones físico-químicas, existe un 43,19% de tierras con condiciones adecuadas de pH (5,75) y profundidad efectiva. Por su parte, la topografía resultó ser un recurso ventajoso, con un 68,4% del área situada en rangos altitudinales idóneos por debajo de los 2 000 m s.n.m y topografía moderada. Se concluye que el departamento Cajamarca posee un alto potencial forestal que supera el millón de hectáreas aptas para el cultivo de la especie, representando el 33,77% de superficie, localizadas estratégicamente en el sector norte, donde la provincia de San Ignacio destaca con 174 057,16 hectáreas de aptitud óptima, consolidándose como la zona de mayor potencial para la diversificación productiva utilizando esta especie.

Palabras clave: Producción potencial, aptitud productiva, factores climáticos, factores edáficos, topografía, ArcGIS, análisis espacial.

Abstract

The objective of this research was to determine the location and extent of areas with productive potential for bamboo (*Guadua angustifolia*) in the Cajamarca region, Peru. The methodology employed used spatial multi-criteria analysis defined by 3 criteria (climatic, edaphic and topographic), divided into 8 sub-criteria (precipitation, maximum and minimum temperature, hydrogen potential – pH, depth, texture, altitude and slope) generated using ArcGIS 10.8 software, to process geographic data from official sources. The results revealed that the region has a predominantly favorable aptitude for this species; the suitable areas have an average rainfall of 2,350 mm/year and optimal temperatures that cover 74.54% of the territory with medium and high aptitudes. Regarding the soil, although 51.24% presents physical-chemical limitations, there is 43.19% of land with adequate pH conditions (5.75) and effective depth. For its part, the topography proved to be an advantageous resource, with 68.4% of the area located in ideal altitudinal ranges below 2,000 m above sea level and moderate topography. It is concluded that the Cajamarca department has a high forestry potential that exceeds one million hectares suitable for the cultivation of the species, representing 33.77% of the surface, strategically located in the northern sector, where the province of San Ignacio stands out with 174,057.16 hectares of optimal suitability, consolidating itself as the area with the greatest potential for productive diversification using this species.

Keywords: Potential production, productive aptitude, climatic factors, edaphic factors, topography, ArcGIS, spatial analysis.

CAPÍTULO I. Introducción

1.1. Planteamiento del Problema

En el año 2022 la deforestación alcanzó las 144 683 hectáreas (Escobar, 2024) en el 2020 se perdieron 203 272 hectáreas, mientras que, en los años 2019 y 2018, se perdieron 184 426 y 154 766 hectáreas respectivamente de superficies boscosas, siendo el 2020 el año de mayor deforestación (Centro Nacional de Planeamiento Estratégico [CEPLAN], 2023), ocasionados por el narcotráfico, la agricultura de inmigración, la tala y minería ilícita. Afectando el ámbito ambiental, así como también el social, militar, político y económico, reduciendo las condiciones para subsistir de la población (Bernal, 2023).

El bambú, es una alternativa sostenible para adaptarse y mitigar las consecuencias del cambio del clima y disminuir la vulnerabilidad de las comunidades del campo (Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre [SERFOR], 2021), así mismo el bambú es una especie adecuada para preservar el suelo, controlar la erosión, recuperar áreas deforestadas, proveer materiales de construcción. Por esto ha ganado y posee mayor atención significando una alternativa con alta viabilidad comparado con la madera y materias primas de lignina y celulosa (Maulana et al., 2022). Su acelerado crecimiento, equilibrio socioeconómico y ambiental, lo hacen prometedor para diversas industrias (Camargo et al., 2025).

En Perú aún se investiga el uso adecuado y las ventajas del bambú debido al manejo deficiente y a la subutilización de los productos derivados. No se difunde su producción y manejo, además no se trata adecuadamente durante la cosecha y postcosecha. Los productores deben manejar técnicamente sus cultivos de bambú para obtener una producción de calidad. Actualmente, se realiza prácticas empíricas con baja productividad (SERFOR, 2021).

La región Cajamarca, por su diversidad climática, topográfica y edáfica, ofrece un potencial significativo para el cultivo de bambú, sin embargo, el desconocimiento de la especie,

requerimientos ambientales, sus beneficios y localización de las áreas aptas para su producción por parte de la población principalmente de las zonas rurales, limita el desarrollo de esta especie y ha conllevado a la subutilización, falta de planificación estratégica en la expansión del cultivo, repercutiendo en los agricultores y en los inversionistas a tomar decisiones no guiadas sobre dónde y cómo establecer plantaciones de manera eficiente y sostenible. Aunque la información sobre el inventario de áreas de *G. angustifolia* es limitada el SERFOR (2026) afirma que existen 4 863 hectáreas de cultivo entre la región Cajamarca y Amazonas, dejando entrever que existe una enorme brecha frente a la potencial productivo que tiene la región.

1.2. Justificación

La presente investigación aporta una base científica geoespacial para categorizar la aptitud (no apta, baja, media y alta) del territorio de la región Cajamarca para el cultivo de *G. angustifolia*. La integración de factores climatológicos, edáficos y topográficos mediante el Análisis Multicriterio y SIG es fundamental, ya que permite reducir la incertidumbre en la toma de decisiones para la expansión de especies forestales no maderables en paisajes andinos complejos (Cauba et al., 2024). Dado que la productividad del bambú depende estrictamente de umbrales específicos de precipitación y pH del suelo, el uso de modelos espaciales optimiza la identificación de nichos productivos que los métodos de zonificación convencionales suelen omitir, mejorando la eficiencia en la inversión pública y privada (Marin et al., 2011).

Asimismo, esta investigación responde a la urgente necesidad de diversificación productiva y restauración ecológica en Cajamarca. El *G. angustifolia* destaca por su capacidad de secuestro de carbono y su potencial para la estabilización de laderas y recuperación de suelos degradados, actuando como un pilar para la resiliencia climática (Tian et al., 2024). Al establecer un marco metodológico replicable, esta investigación no solo facilita el diseño de corredores

productivos y cadenas de valor de "acero vegetal", sino que también fortalece la gobernanza territorial. Los resultados servirán como instrumento técnico para orientar políticas de reforestación que promuevan la generación de empleo verde y la conservación de servicios ecosistémicos en la región (Kleinn y Morales-Hidalgo, 2006).

Formulación del Problema

¿Cuál es la localización y extensión de las áreas aptas para la producción de Bambú (*Guadua angustifolia*) en la región Cajamarca?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Determinar la localización y extensión de las áreas de producción potencial de bambú (*Guadua angustifolia*) en la región Cajamarca.

1.3.2. Objetivos Específicos

Determinar los principales factores climatológicos (precipitación, temperatura mínima y temperatura máxima) que influyen en la producción potencial de bambú (*Guadua angustifolia*) en la región Cajamarca.

Determinar los principales factores edáficos (pH, profundidad y textura) que influyen en producción potencial de bambú (*Guadua angustifolia*) en la región Cajamarca.

Determinar cuáles son los principales factores de topografía (altitud y pendiente) que influyen en producción potencial de bambú (*Guadua angustifolia*) en la región Cajamarca.

CAPITULO II. Marco Teórico

2.1. Antecedentes

Los estudios desarrollados por Tarqui et al. (2025); Morteo-Montiel et al. (2024) y Avena et al. (2021) evidencian la relevancia de Análisis Multicriterio (MCDA) integrado con SIG como herramienta para la planificación territorial e identificación de áreas con aptitud potencial para la actividades agrícolas, forestales y restauración ambiental aplicando metodologías de Proceso de Análisis Jerárquico (AHP), clasificación de áreas en alta, media, baja y no apta integrándoles con variables biofísicas, topográficas y socio ambientales. En la investigación se adopta un enfoque similar al considerar criterios y subcriterios climáticos, edáficos y topográficos integrados con SIG para identificar áreas con aptitud potencial para el cultivo de *G. angustifolia* en Cajamarca.

La evidencia científica analizada Nath et al. (2021) y Cerón, (2021) valida que la sinergia entre SIG y MCDA trasciende la simple cartografía, consolidándose como una herramienta robusta de planificación territorial. Se resalta que los datos de clima-suelo-topografía son el eje determinante de la aptitud biofísica. No obstante, enfoques contemporáneos sugieren que, para especies de alto impacto como el bambú, la modelación debe integrar dimensiones socioecológicas y validación técnica (Wang et al., 2022; Marques et al., 2021). En Cajamarca, este rigor metodológico es crucial para transformar datos geoespaciales en decisiones estratégicas de desarrollo forestal sostenible.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Bambú

Es una planta leñosa, pertenece a las gramíneas sobresaliendo en su género por sus capacidades físicas y mecánicas y el tamaño de sus culmos llegando a tener 30 metros de altura y diámetros de 0,25 metros (Mérida, 2022).

2.2.2. Clasificación Taxonómica

Según Paucar & Llerena (2018, p.14) se detalla la clasificación taxonómica: Pertenece al reino vegetal, división spermatophyta, subdivisión angiosperma, clase monocotiledónea, orden glumiflorales, familia poaceae, subfamilia bambusoideae, tribu bambuseae, subtribu guaduinae, género guadua y a la especie angustifolia.

2.2.3. Descripción Botánica

El bambú posee rizomas simpodiales que miden de 2 a 8 m con cuellos alargados, tallos de 12 a 30 m de largo derechos a inclinados, 6 a 15 cm de diámetro, 7 a 15 mm de espesor, de 15 a 20 cm de entrenudos, ramas de color verde claro mate a medio, verde con varias rayas amarillas anchas o verde oscuro-violáceo, nudillos ligeramente elevados con un anillo blanco por encima y un anillo marrón claro por debajo. Las yemas del culmo son grandes orbiculares, estrechamente ovadas y aladas, con escasas ramas en los nudos inferiores completamente espinosas. Este patrón se repite en las ramas posteriores, creando un follaje claro en una copa abierta, vaina del culmo inicialmente anaranjada triangular, basalmente casi glabra, márgenes distales prominentemente ciliados; lámina triangular erecta, interior ligeramente pubescente, márgenes ciliados, basalmente erizada; aurículas y setas orales ausentes; hoja glabra, márgenes ciliados, aurículas ausentes, lámina de 8 a 20 centímetros de largo, 10 a 25 milímetros de ancho, linear-lanceolada, ápice claramente setáceo; inflorescencia generalmente de 1 a 3 pseudoespiguillas, de 15 a 75 milímetros de largo, hasta diez flósculos perfectos con un flósculo vestigial terminal; ovario ovoide, ápice cónico, 2 a 3 estigmas, 6 estambres apiculados y 3 lodículas fimbriadas (Head et al., 2022).

2.2.4. *Importancia del Bambú*

La importancia del bambú para el desarrollo económico y ambiental es enorme, dado su renovable y rápido crecimiento, su capacidad conservadora del agua, suelo y retención acelerada de carbono (Thang et al., 2022). El bambú genera puestos de trabajo a lo largo de su cadena productiva, desde sus etapas iniciales en viveros hasta llegar a los mercados producto de su comercialización, es usado como materia prima en la industria de alimentos y en la construcción, se han creado empresas en los distintos segmentos de la cadena de producción, como la venta de plántones en vivero, venta de cañas para la edificación de viviendas y establecimientos turísticos, artesanía, fabricación de mobiliario y bisutería (SERFOR, 2021). Los tallos son utilizados solos o agrupados para hacer vigas y pilares, lo que poseen forma aplanada son usados para la elaboración de tableros o esterillas para pisos, techos o para paneles de pared los mismos que pueden ser revestidos con yeso, barro o cemento con el fin de alargar su vida útil; técnicamente se pueden construir edificios de varios pisos hechos en su totalidad con bambú además se pueden construir puentes, postes de cercas y una variedad de herramientas e implementos, mientras que secciones más pequeñas y hendiduras se tejen en una variedad de cestas y bandejas (Head et al., 2022).

El bambú está estrechamente asociado con la vida diaria de los seres humanos, especialmente de las comunidades rurales, el bambú es utilizado principalmente en el aprovechamiento de la madera como material de construcción en viviendas, puentes, escuelas y otros edificios. Es un material resistente, duradero y sostenible, lo que lo convierte en una alternativa económica y ecológica frente a otros materiales, también, tiene propiedades culinarias y es utilizado para comidas como guisos, ensaladas (López-Cuadra et al., 2023).

Protege áreas marginales, zonas vulnerables especialmente durante la época de lluvias, brinda protección ante desbordes y deslizamientos de laderas, aporta materia orgánica ayudando a

estabilizar y consolidar el suelo, ayuda a reducir la erosión debido a la biomasa que aporta a través de su sistema radicular minimizando su vulnerabilidad a riesgos (SERFOR, 2022). El bambú tiene un efecto positivo en el medio ambiente, ya que es capaz de absorber grandes cantidades de CO₂ y liberar O₂ (López-Cuadra et al., 2023). Su rápido desarrollo ayuda a mitigar el cambio climático, la materia orgánica puede mejorar la calidad del suelo y prevenir su erosión, también puede utilizarse para restaurar tierras degradadas, zonas contaminadas (Isukuru et al., 2023).

2.2.5. *Requerimientos Ambientales del Bambú*

2.2.5.1. Factores Climáticos. Las mejores condiciones ecológicas para su desarrollo son climas entre cálidos y templados, con temperatura promedio de 21,9 °C anual y de precipitación en promedio 2 642 mm (Cruz-Armendáriz et al., 2023).

2.2.5.2. Factores de Suelo. El bambú puede crecer en variedades de suelos, pueden ser arenosos, francos, limosos entre otros, los rangos de pH favorables están entre los 4,5 a 6 (Lohani et al., 2023). Se desarrolla en suelos de hasta 1 metro de profundidad, pero también en suelos moderadamente profundos de hasta 0,6 m, según García et al. (2021) prefiere suelos de textura franco arcillosa, franco arcillo limosa y francos, se han reportado resultados óptimos en suelos con 63 % de arena, 19 % de limo y 18 % de arcilla.

2.2.5.3. Factores de topografía. Se desarrolla en una altitud que va de 0 a 4 000 m s.n.m. (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego [MIDAGRI], 2021). Crece en suelos con aptitud forestal, de topografía plana a ondulada, con posibilidades de desarrollarse en pendientes pronunciadas, no obstante, dificulta las tareas de manejo y aprovechamiento, elevando los costos de producción (SERFOR, 2021).

2.2.5.4. Sistemas de Información Geográfica – SIG. En los últimos tiempos, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) han evolucionado de ser simples herramientas para modelar datos geográficos a convertirse en plataformas sofisticadas que permiten comprender y planificar nuestro entorno. Estos sistemas incorporan diversas fuentes de datos, que se representan a través de mapas y visualizaciones en tres dimensiones. Además, el SIG permite detectar modelos, realizar análisis detallados, resolver problemas complejos, descubrir relaciones entre los usuarios, vigilar los cambios y comprender las tendencias (Durán, 2021).

El SIG combina hardware, software y datos para capturar, gestionar, analizar y mostrar todo tipo de información referenciada geográficamente. Los principales componentes de un SIG son: hardware, programas informáticos, datos, personas y métodos (Shrine, 2024).

2.2.5.5. Análisis Multicriterio. Es un conjunto de métodos que implica la evaluación de alternativas basándose en un conjunto integral de criterios contrapuestos, lo que a menudo requiere la participación de diversos responsables de la toma de decisiones (Huang et al., 2024). Es recomendable seleccionar de 5 a 15 criterios, como máximo, para facilitar el análisis (Dirección de Cambio Climático [DCC] y Ministerio de Ambiente y Energía [MINAE], 2021). En el marco de los SIG, el análisis multicriterio, es todo aquel proceso de análisis que permite identificar diversas alternativas de solución frente a un problema, usando principalmente variables cartográficas como datos de partida y herramientas con criterios como base para llegar a una solución (Malczewski & Rinner, 2015).

2.2.5.6. Proceso de Análisis Jerárquico – AHP. Es una herramienta eficiente para manejar la toma de decisiones difíciles, puede asistir al quien toma decisiones, con el fin de determinar prioridades y tomar la decisión más acertada. Al disminuir las decisiones difíciles, se someten a una serie de comparaciones entre pares y posteriormente se sintetizan los hallazgos facilitando la captura de elementos subjetivos y objetivos de una decisión. (Moreira - Franco y Ortega - Ordóñez, 2021).

2.3. Definiciones conceptuales

2.3.1. *Dato espacial*

Es la localización geográfica específica incluyendo coordenadas de latitud y de longitud, sirven para indicar un punto sobre la superficie de la Tierra (Instituto Geográfico Nacional [IGN], 2024).

2.3.2. *Variables topográficas*

Las variables topográficas son las características físicas del terreno, como la pendiente, elevación y la orientación geográfica (Antúnez et al., 2022).

2.3.3. *Variables edáficas*

Las variables edáficas se enfocan en el ámbito geoquímico (propiedades y composición del suelo) y el biológico (relación de la composición del suelo con el crecimiento vegetal (Universitat Carlemany [UCMA], 2024). La composición química y física del suelo como la densidad, el pH, la conductividad eléctrica y la capacidad de infiltración, los nutrientes del suelo dependen de estas características (Portillo, 2023).

2.3.4. *Variables climáticas*

Son los fenómenos atmosféricos como la precipitación, temperatura, presión atmosférica, viento, humedad, asolación, nubosidad evaporación (Núñez, 2023).

2.3.5. *Aptitud o calidad de sitio*

Lugar geográfico con potencial productivo para el crecimiento y desarrollo de una determinada especie de vegetación (Kees et al., 2022).

2.3.6. *Análisis espacial*

Es un conjunto de técnicas para obtener nueva información y conocimiento a partir de datos espaciales, incluyendo métodos de muestreo, visualización, manipulación y análisis aplicados a los datos, el análisis espacial maneja explícitamente ubicaciones y relaciones espaciales, esta capacidad, desde una perspectiva geoespacial, facilita el examen eficaz de objetos, eventos y procesos que ocurren en la superficie terrestre o cerca de ella, ocupa la propiedad geográfica intrínseca de los objetos y del efecto del lugar y el espacio (Hao, 2021).

2.3.7. *ArcGis 10.8*

Es un software y sistema integral, creado por Environmentales Instituto de Investigación (ESRI), que facilita el manejo, recolección y administración de información geolocalizada. ArcGIS se utiliza en diversas aplicaciones, que abarcan el análisis, planificación, gestión de activos, entendimiento de cómo funcionan las operaciones, entre otros. Además, permite la elaboración de varios tipos de mapas, incluyendo mapas web de manera sencilla y acceso fácil. (Román y Aguilar, 2023).

2.3.8. Superposición

La superposición es una técnica SIG, que consiste en unir diversas capas de datos geoespaciales para construir un mapa múltiple que muestra las relaciones espaciales entre diferentes entidades. Al unir diferentes capas de datos proporciona un entendimiento global de las relaciones espaciales y seleccionar zonas que cumplan con criterios específicos (Yadav, 2023).

CAPÍTULO III . Metodología

3.1. Tipo, diseño, nivel y enfoque de investigación

3.1.1. Tipo de investigación

La investigación fue descriptiva, describe con precisión una situación específica (Haro et al., 2024).

3.1.2. Diseño de investigación

El diseño de la investigación fue no experimental, transversal y de análisis espacial, con enfoque cuantitativo, porque se emplearon variables geográficas y ponderaciones numéricas para modelar la aptitud territorial.

3.1.3. Nivel de investigación

Es simple o elemental, porque el problema se estudió a nivel de diagnóstico, comparación o correlación de variables, explicación de causa y efecto, análisis de contenido y cualitativamente en un único elemento estructural (Condori-Ojeda, 2020).

3.1.4. Enfoque de diseño de investigación

Es cuantitativo porque se utilizó datos geográficos y criterios con ponderación numérica para determinar la aptitud, cuya expresión de los resultados fueron en mapas con valores cuantificables.

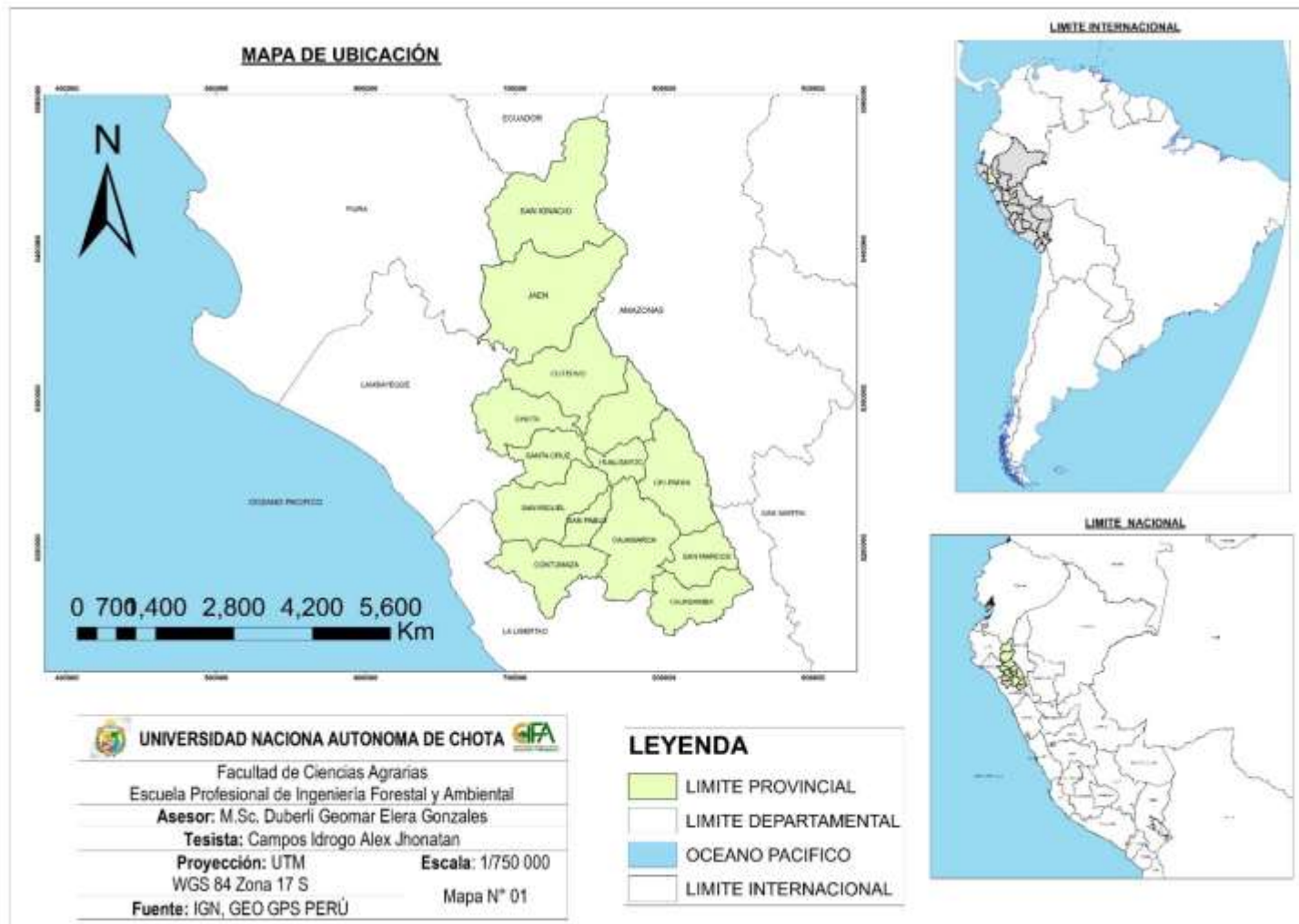
3.2. Ubicación, población, muestra, muestreo y unidad de análisis

3.2.1. Ubicación

La investigación se desarrolló en la región Cajamarca. Esta región cuenta con una superficie territorial de 33 304,32 km², y una población de 1 454 217 habitantes, políticamente esta subdividida en trece provincias (Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI], 2023). Limita por el norte con Ecuador, por el sur con la región de La Libertad, por el este con la región de Amazonas y por el oeste con las regiones de Piura y Lambayeque. De acuerdo al mapa climático del Perú, Cajamarca posee climas lluviosos y fríos en zonas altas, mesotérmicos en zonas intermedias, en zonas bajas y ceja de selva climas semiáridos, cálidos y húmedos. La temperatura media anual varía entre 10,6 °C a 23,5 °C, con máximas entre 18 °C a 30 °C y temperaturas mínimas que varían entre 3,2 °C a 17,1 °C. Cajamarca posee 7 ecorregiones o ecosistemas dentro de los cuales están: Paramo, jalca, bosques andinos estacionales, bosques montanos nublados, bosques secos del marañón, bosques secos del pacifico y el desierto (Gobierno Regional Cajamarca [GORE], 2014).

Figura 1

Mapa de localización del departamento Cajamarca



Nota. Elaboración propia a partir de datos de IGN, GEO GPS PERÚ.

3.2.2. Población

Comprende toda el área superficial terrestre del departamento Cajamarca.

3.2.3. Muestra

Comprende toda el área superficial terrestre del departamento Cajamarca, 100% del área de estudio.

3.2.4. Muestreo

Se realizó una evaluación espacial exhaustiva del territorio regional.

3.2.5. Unidad de Análisis

Comprende las áreas geográficas de la región Cajamarca determinada por píxeles de un ráster.

3.3. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

3.3.1. Técnicas de Recolección de Datos

- **Análisis Multicriterio.** Se empleó para identificar los factores clave que afectan la aptitud para la producción de bambú, asignar pesos a cada criterio según su relevancia, y crear mapas de aptitud para cada criterio utilizando herramientas de análisis espacial en el SIG.
- **Recopilación de Información Secundaria.** Esta técnica sirvió para realizar la recolección de información de la zona de estudio y de las variables, de libros, tesis, artículos científicos, guías, manuales técnicos, resoluciones ministeriales, informes, estadísticas gubernamentales y bases de datos cartográficos.

3.3.2. *Instrumentos de Recolección de Datos*

- **Base de Datos.** La información cartográfica fue descargada de fuentes oficiales disponibles para el área de estudio de Geo Servidores SIG disponibles en formato ráster, shapefile y DEM del Instituto Geográfico Nacional – IGN, WorldClim y SoilGrids.
- **ArcGIS.** Se utilizó para la verificación, preprocesamiento y procesamiento de los datos georreferenciados de cada una de las variables de investigación.
- **Laptop.** Se utilizó para la descarga y almacenamiento de los ráster y shapefiles de cada una de las variables utilizadas.
- **Internet.** Se utilizó para la descargar los ráster y shapefiles de cada una de las variables utilizadas.

3.4. **Hipótesis**

Cajamarca cuenta con áreas aptas para la producción de Bambú (*Guadua angustifolia*) que pueden contribuir a la diversificación productiva de la región.

3.5. **Operacionalización de Variables**

3.5.1. *Variable Dependiente*

Localización y extensión de las áreas aptas para la producción del bambú.

3.5.2. *Variables Independientes*

Factores climáticos: Precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima.

Factores edáficos: pH, profundidad y textura.

Factores de topografía: Altitud y pendiente.

Tabla 1*Operacionalización de variables*

Variables		Dimensión	Indicador	Instrumento	Escala de medición
Aptitud productiva	Localización y extensión de las áreas aptas para la producción de Bambú	Mapa temático	No apta	Mapas cartográficos	0 – 0,25
			Baja		0,25 – 0,5
			Media		0,5 – 0,75
		Alta	0,75 - 1		
Factores ambientales	Factores climáticos	Precipitación	mm/año	Worldclim	700 – 4 000
		Temperatura mínima	°C		11
		Temperatura máxima	°C		36
		pH	pH		5 a 6,5
	Factores edáficos	Profundidad	cm	Base de datos SoilGrids*	≤ 60
		Textura	Textura		Franco arcilloso - franco arenoso
	Factores de topografía	Altitud	m s.n.m.	DEM ALOS PALSAR	0 – 3 000
		Pendiente		%	Curvas de nivel

Nota. Elaboración propia.

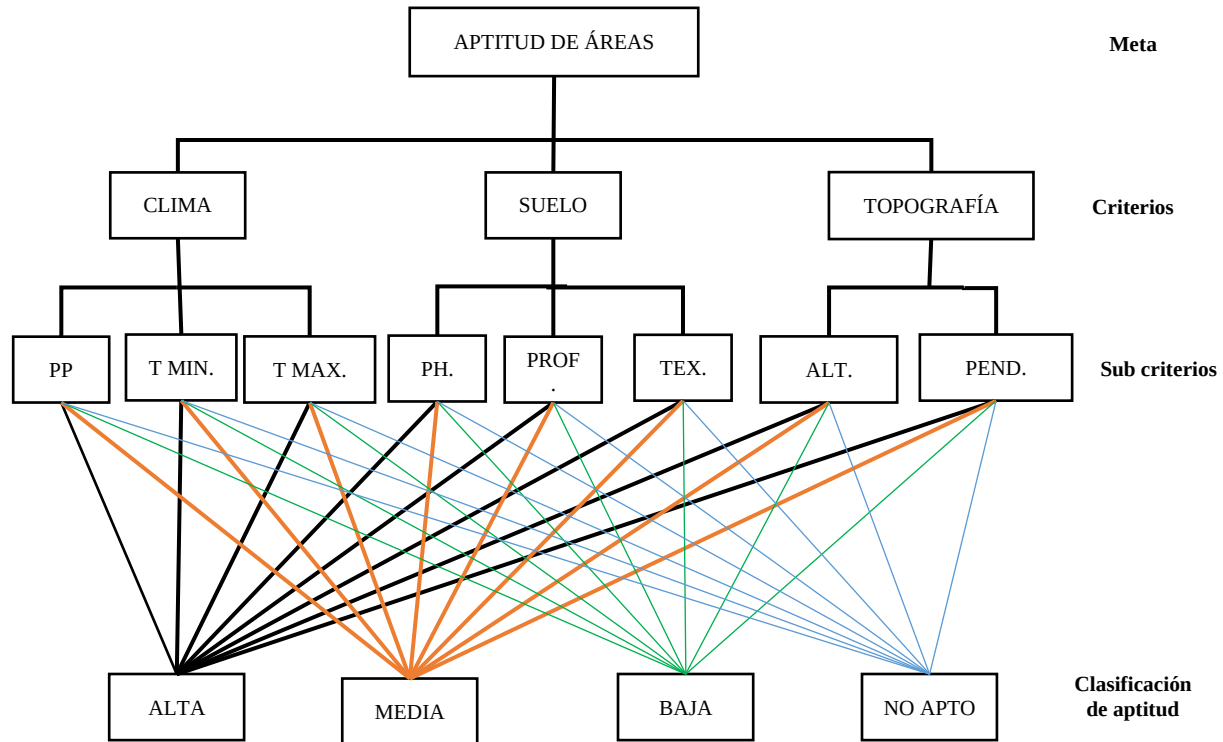
3.6. Procedimiento de Recolección de Datos

3.6.1. Jerarquización de Criterios y Sub Criterios del Problema de Decisión.

Se consideró el marco metodológico de Proceso de Análisis Jerárquico – AHP definido por Satty (1980), quien integra la base de datos que corresponden a la zona que se está estudiando, describiendo la variabilidad espacial de los criterios y sub criterios que se consideran con mayor importancia para la instalación de plantaciones con especies de interés logrando establecer tres criterios principales, ocho subcriterios y cuatro clases de aptitud.

Figura 2

Jerarquización de criterios y sub criterios del problema de decisión



Nota. PP: Precipitación; T° MIN: Temperatura mínima; T MAX: Temperatura máxima; PROF: Profundidad; TEX: Textura; ALT: Altitud; PEND: Pendiente. *Tomado de Bustillos-Herrera et al., 2007, (Pag.791).*

3.6.2. Obtención de Variables en Google Earth Engine (GEE)

La información base se obtuvo de fuentes globales disponibles en la plataforma Google Earth Engine (GEE), seleccionando capas ambientales de alta confiabilidad y resolución espacial, delimitadas mediante el polígono del área de estudio, al cual se aplicó un buffer de 10 km para garantizar que todas las variables se encuentren dentro de Cajamarca.

Las variables extraídas se clasificaron en tres tipos principales:

- **Climáticas:** precipitación anual, temperatura mínima y máxima.

- **Edáficas:** pH, textura y profundidad efectiva del suelo (0 –5 cm).
- **Topográficas:** altitud y pendiente.

Todas las capas fueron recortadas al área de interés y exportadas en formato GeoTIFF (.tif) para su análisis en ArcGIS.

Tabla 2

Variables obtenidas en Google Earth Engine (GEE)

Tipo	Fuente	Variable	Unidad / Escala	Resolución Espacial	Año	Sistema de Referencia	Preprocesamiento
Climática	WorldClim V1	Precipitación anual (bio12)	mm/año	1 km → 30 m (downscaling)	1970–2000	WGS 84 (EPSG:32717)	Recorte del área de estudio, reproyección y aplicación de downscaling espacial a 30 m en Google Earth Engine
Climática	WorldClim V1	Temperatura máxima del mes más cálido (bio05)	°C	1 km → 30 m (downscaling)	1970–2000	WGS 84 (EPSG:32717)	Conversión de unidades, recorte del AOI, reproyección y downscaling espacial a 30 m
Climática	WorldClim V1	Temperatura mínima del mes más frío (bio06)	°C	1 km → 30 m (downscaling)	1970–2000	WGS 84 (EPSG:32717)	Conversión de unidades, recorte del AOI, reproyección y downscaling espacial a 30 m
Edáfica	SoilGrids	pH	pH ×10	250 m → 30 m (downscaling)	2020	WGS 84 (EPSG:32717)	Selección de capa edáfica, normalización de valores, remuestreo y downscaling a 30 m
Edáfica	SoilGrids	Textura	%	250 m → 30 m (downscaling)	2020	WGS 84 (EPSG:32717)	Extracción de fracciones de arena, limo y arcilla; reclasificación textural y downscaling a 30 m
Edáfica	SoilGrids	Profundidad del suelo (0–5 cm)	cm	250 m → 30 m (downscaling)	2020	WGS 84 (EPSG:32717)	Conversión de unidades, recorte, validación espacial y downscaling a 30 m
Topográfica	NASA SRTM	Altitud o Elevación	m s.n.m.	30 m	2000	WGS 84 (EPSG:32717)	Corrección de vacíos, recorte del AOI y generación de MDE
Topográfica	NASA SRTM	Pendiente	°	30 m	2000	WGS 84 (EPSG:32717)	Derivación de pendiente a partir del MDE usando análisis espacial en Google Earth Engine

Nota. Elaboración propia.

3.6.3. Definición de Requerimientos Ambientales de la Especie Bambú

Se establecieron los requerimientos ambientales de temperatura mínima y máxima, precipitación, profundidad, pH, altitud, textura, y pendiente para la especie *Guadua angustifolia*, de acuerdo a la información recabada de artículos científicos cuyas publicaciones están en revistas indexadas.

Tabla 3***Requerimientos ambientales de la especie bambú***

Requerimientos ambientales del bambú (<i>Guadua angustifolia</i>)		
Clima	Precipitación	700 – 4 000 mm/año (Battisti et al., 2019).
	Temperatura mínima	11 °C (Añazco, 2019).
	Temperatura máxima	36 °C (Muñoz et al., 2021).
Suelos	pH	5 a 6,5 (Raghav, 2024).
	Profundidad	≤ 60 cm (Kaushal et al., 2020).
	Textura	Franco arcilloso - franco arenoso (Afanador-Barajas et al., 2020).
Topografía	Altitud	0 a 3 000 m.s.n.m (Ayer et al., 2023)
	Pendiente	0 – 30% (López-Cuadra et al., 2023)

Nota. Elaboración propia a partir de Battisti et al. (2019), Añazco (2019), Kaushal et al. (2020), Afanador-Barajas et al. (2020), Muñoz et al. (2021), Ayer et al. (2023), López-Cuadra et al. (2023) y Raghav (2024).

3.6.4. Modelado de Aptitud Mediante la Asignación de Pesos a las Variables

La asignación de pesos se realizó de acuerdo a Bustillos-Herrera et al. (2007). En función de la unidad. En el establecimiento de los pesos para los criterios Clima, Suelo y topografía se consideró al clima como el factor más importante asignándole el mayor peso con 0,485 seguido del factor suelo con un peso de 0,300 y finalmente se consideró al factor topografía con un peso de 0,215. Debido a que el clima es el factor ambiental clave que afecta su distribución (Tao et al., 2024). Influyendo de forma determinante en la distribución geográfica adecuada del bambú seguido del factor suelo (Yebeyen et al., 2022). Condicionados por la precipitación y la temperatura en el establecimiento de los bosques (Li et al., 2019). El crecimiento del bambú depende de la calidad e integración del suelo, destacando su importancia moderada, mientras que los factores topográficos como la pendiente no son significativos (Chen, 2017). Los factores edafoclimáticos están directamente relacionados con el desarrollo de la altura y el diámetro

(Cabrera y Delgado, 2005). En el establecimiento de los pesos para los subcriterios del criterio clima se consideró la precipitación como el criterio más importante asignándole un peso de 0,685 seguido de la Temperatura Mínima con 0,210 y Temperatura Máxima con 0,105. Debido a que la precipitación es la variable ambiental clave que afecta la distribución del bambu (Zhao et al., 2023). Especialmente la media y la desviación estándar interanual de la precipitación anual en cada sitio, muestra mayor importancia en comparación con la temperatura (Shi et al., 2020). Las temperaturas óptimas para el crecimiento de los brotes son cuando la temperatura media es mínima en un rango de 10 °C a 20 °C (Chan, 2022). Mostrando requerimientos de endodormancia y frío para su liberación (Yang et al., 2023). Las semillas requirieren una exposición prolongada a bajas temperaturas para germinar; las altas temperaturas y la desecación reducen la germinación (Abe & Shibata, 2014).

Al establecer los pesos para los subcriterios del criterio suelo se asignó a la profundidad un peso de 0,625 dándole una importancia crítica frente a la textura con un peso de 0,235 y al pH que fue 0,140. La parte del sistema radicular del bambú se concentra en las primeras decenas de centímetros; por ello la profundidad utilizable del perfil (0–40/60 cm) es crítica para el establecimiento (Yang et al., 2020). Por tanto, la profundidad del suelo disponible es clave para que el bambú aporte anclaje y favorezca el establecimiento estable en pendientes. Controlando dónde se establecen los rizomas, por tanto, condicionan el éxito del cultivo (Xiao et al., 2021). La textura que ofrece buena porosidad y permeabilidad es un factor decisivo para el establecimiento, incluso más destacable que el pH (Lohani et al., 2023).

Al establecer los pesos para los subcriterios del criterio topografía a la altitud se asignó un peso de 0,689 dándole una importancia más significativa frente a la pendiente que fue 0,311. Las gradientes altitudinales varían de acuerdo a factores ambientales (temperatura, humedad, luz,

suelo) que afectan directamente rasgos foliares, crecimiento y expansión de la población de bambú (Guo et al., 2018). Influyendo en la productividad efectiva del bambú, seguida de la pendiente (Cheng, 2015). La altitud impacta significativamente en la productividad en biomasa aérea, incluso más que la pendiente (Devi & Singh, 2021). Los pesos globales se obtuvieron multiplicando el peso del criterio principal por el peso local de cada subcriterio. Este esquema permitió cuantificar la influencia relativa de cada variable sobre la idoneidad ecológica total.

Tabla 4

Asignación de pesos a las variables

			Clima		
Criterio	Peso		Subcriterio	Peso Local	Peso Global
Clima	0,485		Precipitación	0,685	0,332
Suelo	0,300		Temperatura Máxima	0,105	0,051
Topografía	0,215		Temperatura Mínima	0,210	0,102
Suelo			Topografía		
Subcriterio	Peso Local	Peso Global	Subcriterio	Peso Local	Peso Global
pH	0,140	0,042	Altitud	0,689	0,148
Profundidad	0,625	0,188	Pendiente	0,311	0,067
Textura	0,235	0,071			

Nota. Elaboración propia a partir de Satty (1980) tomado de Bustillos-Herrera et al. (2007).

3.6.5. Generación del Índice de Aptitud Ponderado

Se estableció la ponderación de acuerdo al marco metodológico de Proceso de Análisis Jerárquico – AHP definido por Satty (1980), quien estableció una ponderación basada en 4 niveles de aptitudes cuyas denominaciones son: No aptas, baja, media y alta. Se asignó valores a las aptitudes que van desde 0 a 1.

Tabla 5

Valores del índice de aptitud ponderado

APTITUD	VALORES
No apta	0-0,25
Baja	0,25-0,5
Media	0,5-0,75
Alta	0,75-1,00

Nota. Elaboración propia a partir Satty (1980), tomado de Bustillos-Herrera et al., 2007.

El índice de aptitud (IA) se generó mediante la herramienta Weighted Overlay en ArcGIS, combinando las capas estandarizadas según la expresión:

$$IA = \sum_{i=1}^n (W_i \times X_i) \dots \dots \dots \text{Formula n}^\circ 01$$

Donde:

W_i =Peso asignado a cada subcriterio.

X_i = Valor estandarizado de aptitud.

El resultado fue un ráster continuo con valores entre 0 y 1, posteriormente reescalado a 0 –100 %.

3.6.6. Reclasificación y Filtrado del Resultado

El índice continuo se reclasificó en cuatro categorías cualitativas para facilitar la interpretación cartográfica. Posteriormente, se aplicó un filtro de vecindad 4×4 (Mean Filter) con el fin de suavizar las variaciones abruptas entre píxeles y reducir el efecto del ruido espacial, mejorando la coherencia del patrón de aptitud.

Tabla 6*Reclasificación del índice de aptitud*

Clase	Rango (%)	Categoría
1	0 – 0,25	No apta
2	0,25 – 0,50	Baja
3	0,50 – 0,75	Media
4	0,75 – 1,00	Alta

Nota. Elaboración propia a partir Satty (1980), tomado de Bustillos-Herrera et al., 2007.

3.6.7. Análisis de Sensibilidad de Pesos

El análisis de sensibilidad se realizó con el fin de evaluar la robustez y confiabilidad de los resultados obtenidos, este procedimiento consistió en modificar individualmente los pesos de cada criterio en un rango de $\pm 10\%$ respecto al valor original determinado mediante el método de ponderación seleccionada. Para cada escenario de variación, se recalcularon los pesos de todos los criterios de manera proporcional manteniendo constante la suma de ponderaciones en función del 100%. Se utilizaron las siguientes formulas:

El análisis de sensibilidad +10 se generó mediante la siguiente expresión:

$$Peso_{+10} = Peso\ base * 1,10 \dots\dots\dots \text{Formula n}^\circ 02$$

El análisis de sensibilidad -10 se generó mediante la siguiente expresión:

$$Peso_{-10} = Peso\ base * 0,90 \dots\dots\dots \text{Formula n}^\circ 03$$

La variación absoluta se generó mediante la siguiente expresión:

$$\text{Variación absoluta} = Peso_{+10} - Peso_{-10} \dots\dots\dots \text{Formula n}^\circ 04$$

La importancia relativa se generó mediante la siguiente expresión:

$$\text{Importancia (\%)} = Peso\ base * 100 \dots\dots\dots \text{Formula n}^\circ 05$$

Para definir los criterios de influencia se utilizó 4 valores basados en la importancia en porcentaje quien definió el grado de influencia: < 5 % = Baja; 5 – 10 % = Media, 10 – 20 % = Alta y > 20 % = Muy Alta.

3.6.8. *Generación del Mapa Final*

El mapa final de idoneidad ecológica se simbolizó utilizando una paleta de colores tipo semáforo (rojo = no apta, verde = alta aptitud) y se exportó en formato GeoTIFF para su interpretación en el análisis de resultados y discusión.

3.7. Procedimientos de Análisis de Datos

La metodología combinó fuentes de datos ambientales globales obtenidas desde GEE con técnicas de análisis multicriterio ponderado en ArcGIS. El empleo de pesos jerárquicos permitió integrar cuantitativamente la influencia relativa de los factores climáticos, edáficos y topográficos, generando un modelo espacial confiable para identificar zonas óptimas de establecimiento de *G. angustifolia* en Cajamarca.

3.8. Material y Equipos

3.8.1. *ArcGis 10.8*

ArGis 10.8 se empleó como herramienta para procesar, realizar el análisis espacial y hacer el modelamiento cartográfico orientado a identificar las áreas potenciales para el cultivo de *Guadua angustifolia* en la región Cajamarca. El software permitió integrar diversas capas de información geográfica y realizar transformaciones

3.8.2. *Google Earth Engine (GEE)*

Google Earth Engine (GEE) se utilizó como plataforma para el procesamiento geoespacial en la nube, generar eficientemente las variables ambientales, edáficas y topográficas de alta resolución espacial y temporal, necesarias para la construcción del modelo de análisis

multicriterio, permitiendo el manejo de grandes volúmenes de datos satelitales y climáticos, reduciendo tiempos de preprocesamiento y garantizando la reproducibilidad del flujo de trabajo.

3.8.3. Capas Climáticas

Las capas climáticas formaron variables críticas en el análisis multicriterio para poder determinar las aptitudes del cultivo de *Guadua angustifolia*, estas capas fueron procesadas, se estandarizaron y evaluaron para representar las condiciones climáticas, edáficas y topográficas necesarias para el cultivo del bambú en la región Cajamarca.

3.8.4. Mapas Cartográficos

Los mapas cartográficos constituyeron la base espacial fundamental para la estructuración del análisis multicriterio, permitiendo organizar, normalizar y representar los distintos factores ambientales, topográficos y administrativos involucrados en la delimitación de áreas aptas para el cultivo de *Guadua angustifolia* en Cajamarca.

3.8.5. Laptop con Procesador i7

La laptop equipada con procesador Intel Core i7 constituyó la plataforma principal para realizar el procesamiento de datos geoespaciales, ejecutar el análisis multicriterio y manejo de software especializado como ArcGIS 10.8 y herramientas de Google Earth Engine (GEE) para la identificación de áreas aptas para el cultivo de *Guadua angustifolia*.

3.9. Aspectos Éticos

Este estudio defenderá valores sociales como la objetividad, la honestidad, la responsabilidad, el respeto y la justicia. No se conocen riesgos de investigación y existen beneficios potenciales significativos porque el estudio tiene como objetivo producir una evaluación favorable antes de que el público en general tome decisiones científicas. El presente estudio no presente ningún conflicto de intereses.

CAPÍTULO IV . Resultados y Discusiones

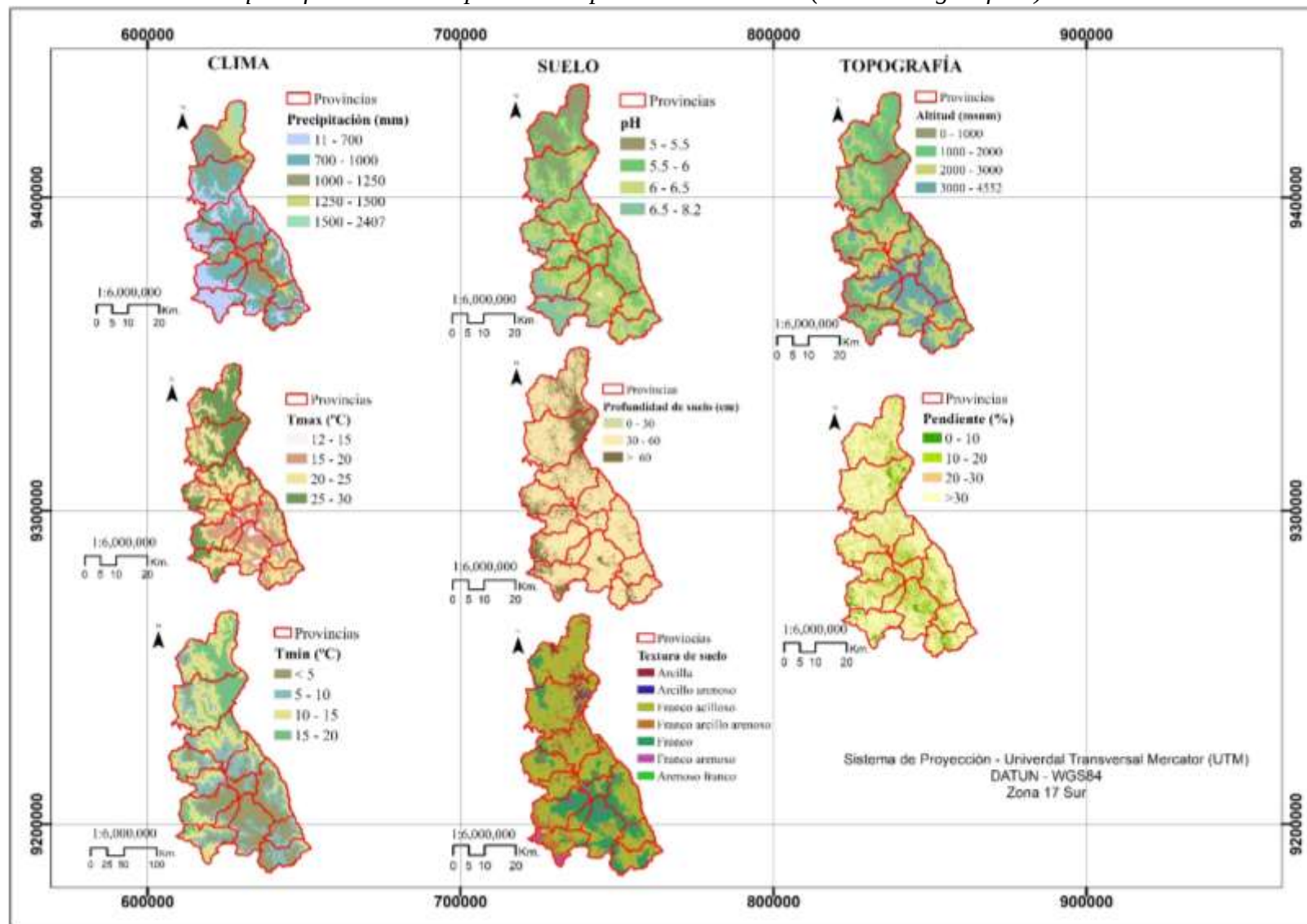
4.1. Descripción de Resultados

4.1.1. Identificación de factores ambientales (clima, suelo y topografía) que influyen en la producción potencial de Bambú (*Guadua angustifolia*) en la región Cajamarca.

En la región Cajamarca, los factores ambientales determinantes para la producción potencial de *Guadua angustifolia* se basó en tres criterios: clima, suelo y topografía; divididos a su vez en ocho subcriterios biofísicos: precipitación, temperatura máxima, temperatura mínima, pH, profundidad, textura, altitud y pendiente, los cuales delimitan las áreas óptimas para el cultivo. Según los resultados presentados en la Figura 3, el factor climático presenta un régimen de lluvias que alcanza valores óptimos de hasta 2 407 mm, controlado por régimen térmico con temperaturas máximas que oscilan entre 12 y 30 °C y mínimas que en su mayor parte se mantienen por encima de los 5 °C, condiciones tropicales que resultan esenciales para el metabolismo de la especie. Las propiedades del suelo, analizadas espacialmente, muestran texturas franco-arcillosas a franco-arenosas y valores de pH entre 5,0 a 8,2, asimismo, la profundidad efectiva supera con frecuencia los 60 cm. En este sentido, se define la aptitud del cultivo por un gradiente de altitud que va de 0 hasta 4 552 m s.n.m.

Figura 3

*Factores ambientales que influncian en la producción potencial del bambú (*Guadua angustifolia*)*



Nota. Elaboración propia a partir de datos de WorldClim V1, SoilGrids y NASA-SRTM.

La Tabla 7 muestra que la producción potencial de *Guadua angustifolia* tiene un rango ambiental, determinado por el factor climático con precipitación media de 2 350 mm/año y oscilación térmica de 15,50 °C a 28,50 °C. Referente a la propiedad edáfica, presenta preferencia por un pH del orden de 5,75, lo que permite la instalación en suelos con una acidez intermedia. Las texturas pueden ser prudente, franco-arcillosas o franco-arenosas. Permitiendo un desarrollo radicular de 60 cm de profundidad. En cambio, el componente topográfico presenta adaptabilidad versátil entre el nivel 0 y los 2 000 m s.n.m. El área de cultivo y adaptación del bambú va de 0 a 1 650 m s.n.m., con inclinaciones de terreno de 0,15, lo que indica que el éxito productivo de esta especie depende de una buena mezcla de humedad, calor y condiciones físicas de cultivo que aseguren el drenaje.

Tabla 7

Criterios y subcriterios ambientales que influyen en la producción potencial del bambú (Guadua angustifolia)

Criterios	Subcriterios	Valor Mínimo	Valor Máximo	Media	Desviación estándar
Clima	Precipitación	700 mm/año	4 000 mm/año	2 350,00	1 166,19
	Temperatura Mínima	11 °C	20 °C	15,50	3,18
	Temperatura Máxima	21 °C	36 °C	28,50	5,30
Suelos	pH (acidez)	5,0	6,5	5,75	0,53
	Profundidad	0 cm	60 cm	30,00	21,21
	Textura	Franco arcilloso	Franco arenoso		
Topografía	Altitud	0 m s. n. m.	2 000 m s. n. m.	1 000,00	707,11
	Pendiente	0 %	30 %	15,00	10,61

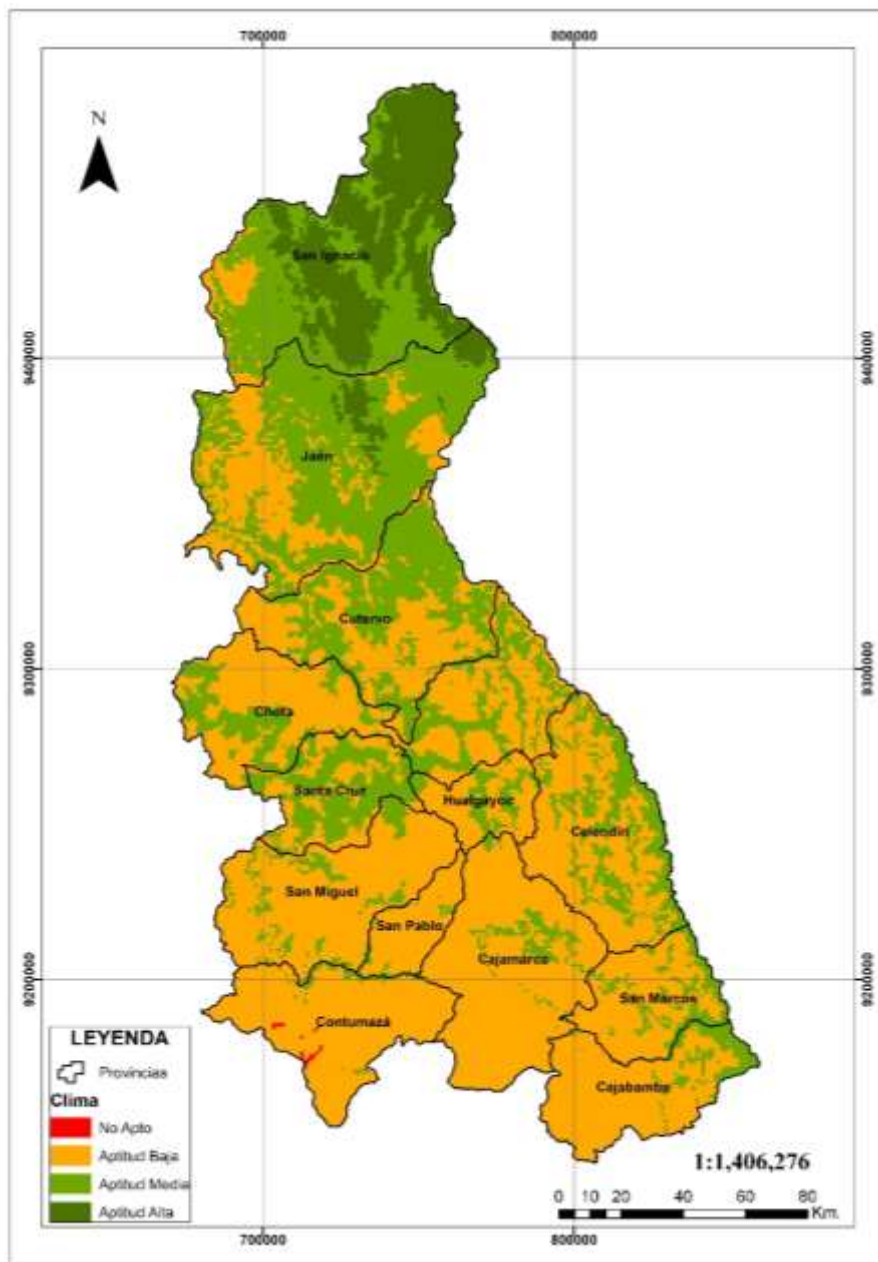
Nota. Elaboración propia.

4.1.2. Localización y extensión de las áreas de producción potencial de bambú (*Guadua angustifolia*), por los factores ambientales (clima, suelo y topografía) en la región Cajamarca.

4.1.2.1. Clima

Figura 4

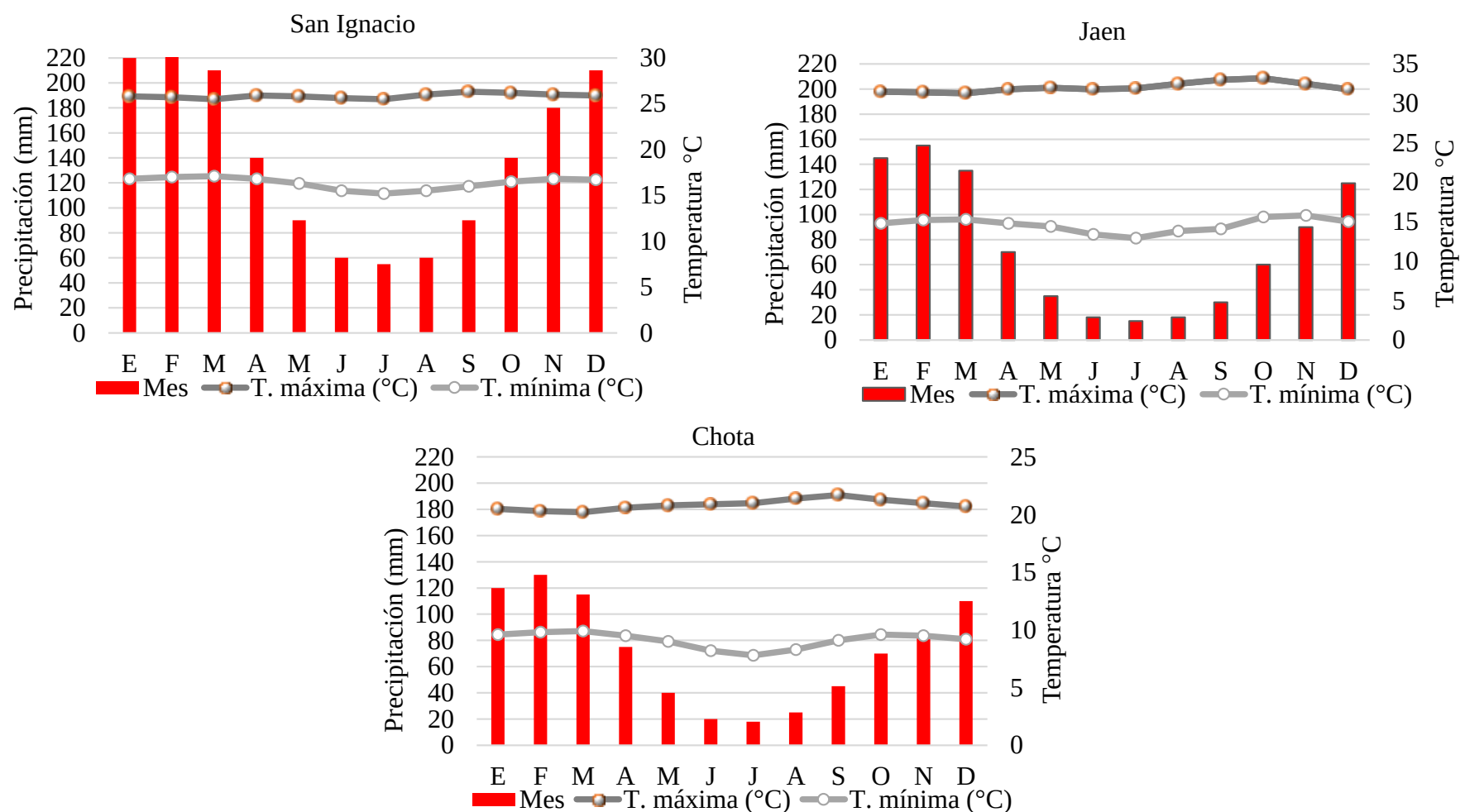
*Localización y extensión de las áreas de producción potencial de bambú (*Guadua angustifolia*) en la región Cajamarca influenciados por los factores climáticos*



Nota. Elaboración propia a partir de WorldClim V1, 1970-2000.

Figura 5

*Climograma de las provincias con mayor cantidad de áreas de producción potencial de bambú (*Guadua angustifolia*) en la región Cajamarca influenciados por los factores climáticos*



Nota. Grafico adaptado con datos (SENAMHI, 1991- 2020).

Tabla 8

Aptitud forestal de las áreas de producción potencial de bambú (Guadua angustifolia) en la región Cajamarca influenciados por los factores climáticos.

Aptitud	Área (ha)	Área (%)
No Apta	55 533,41	1,69
Aptitud Baja	781 523,00	23,77
Aptitud Media	2 025 329,00	61,60
Aptitud Alta	425 322,00	12,94
Total	3 287 707,41	100,00

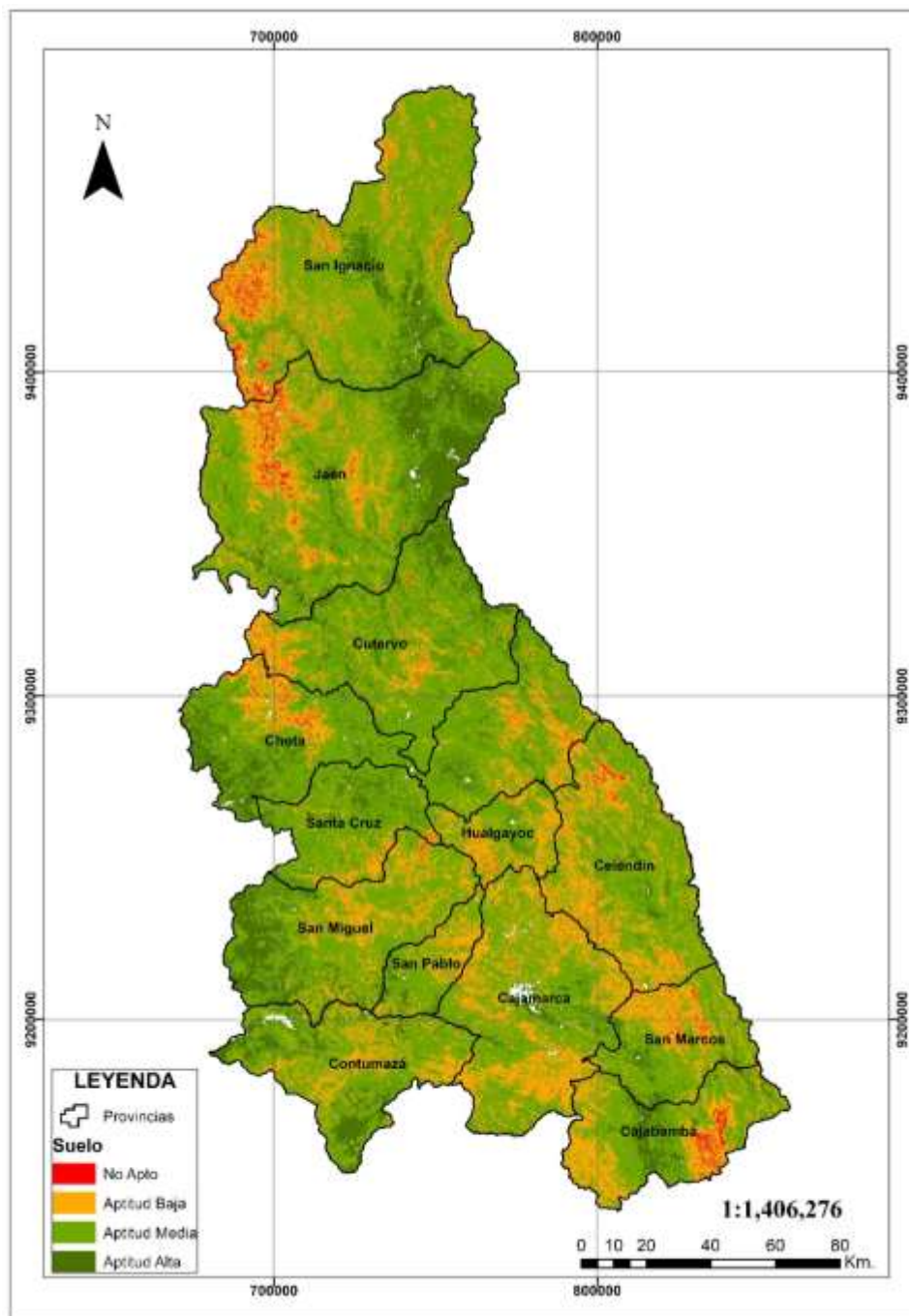
Nota. Elaboración propia.

En el análisis de la caracterización climática para el cultivo de *Guadua angustifolia* en Cajamarca (ver Tabla 8 y Figura 4 y 5), el resultado de este ejercicio de globalidad nos muestra que la región tiene disposición principalmente favorable; así, el 61,60% de su territorio (2 025 329 ha) tiene aptitud media; el 12,94% (425 322 ha) tiene aptitud alta; esta última se presenta principalmente en la provincia de San Ignacio, al norte del departamento. Las zonas que presentan una baja aptitud, son las que constituyen el 23,77% en la superficie que se evaluó, el 1,69% es el área marginal que no sería apta, las variables térmicas y pluviométricas de la zona altoandina y de ceja de selva cajamarquina posee condiciones bioclimáticas propicias para el cultivo extensivo de la especie de bambú.

4.1.2.2.Suelo

Figura 6

*Localización y extensión de las áreas de producción potencial de bambú (*Guadua angustifolia*) en la región Cajamarca influenciados por los factores edáficos*



Nota. Elaboración propia a partir de SoilGrids, 2020.

Tabla 9

Aptitud forestal de las áreas de producción potencial de bambú (Guadua angustifolia) en la región Cajamarca influenciados por los factores edáficos

Aptitud	Área (ha)	Área (%)
No Apta	2 352,41	0,07
Aptitud Baja	1 865 410,00	56,74
Aptitud Media	1 141 220,00	34,71
Aptitud Alta	278 725,00	8,48
Total	3 287 707,41	100,00

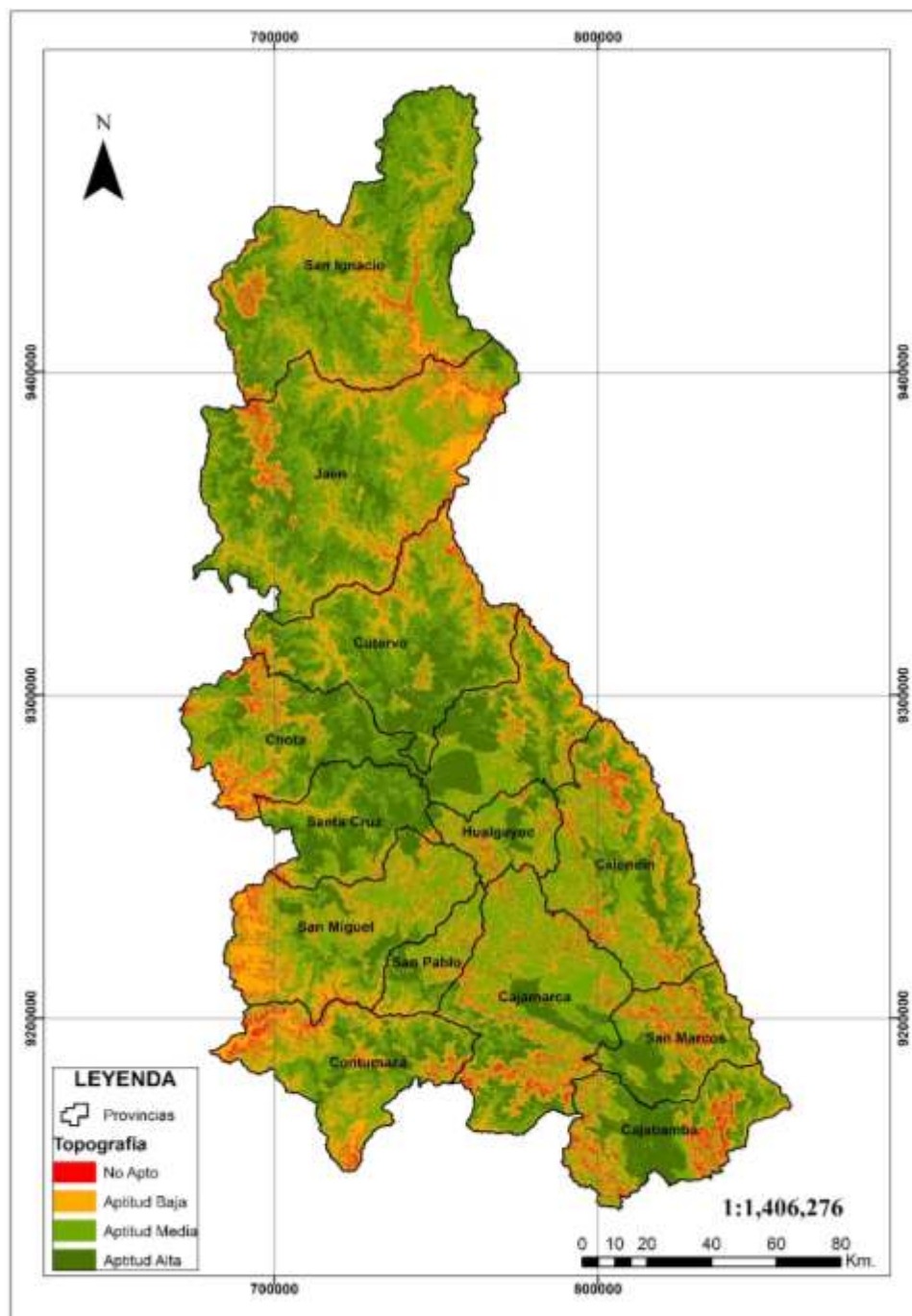
Nota. Elaboración propia.

Según la Figura 6 y la Tabla 9, la evaluación de la aptitud edáfica de la especie conocida como *G. angustifolia* en la Región Cajamarca, muestra que los suelos de esta zona tienen limitaciones para su cultivo, de manera que el 56,74% del área (1 865 410 ha) tiene una baja aptitud. Sin embargo, existen amplias posibilidades de expansión en áreas con condiciones favorables, ya que el 34,71 % de las tierras tiene una aptitud media y el 8,48 % (278 725 ha) tiene una Aptitud Alta, en su gran mayoría ubicadas en las provincias del norte y en determinados sectores del centro de la región. En contraste, las zonas consideradas no aptas apenas representan el 0,07%, lo que nos indica que, aunque la mayoría de suelos requieren un manejo técnico debido a limitaciones físico-químicas, en Cajamarca existe bastante territorio predispuesto para la producción de bambú, aplicando criterios de zonificación forestal.

4.1.2.3.Topografía

Figura 7

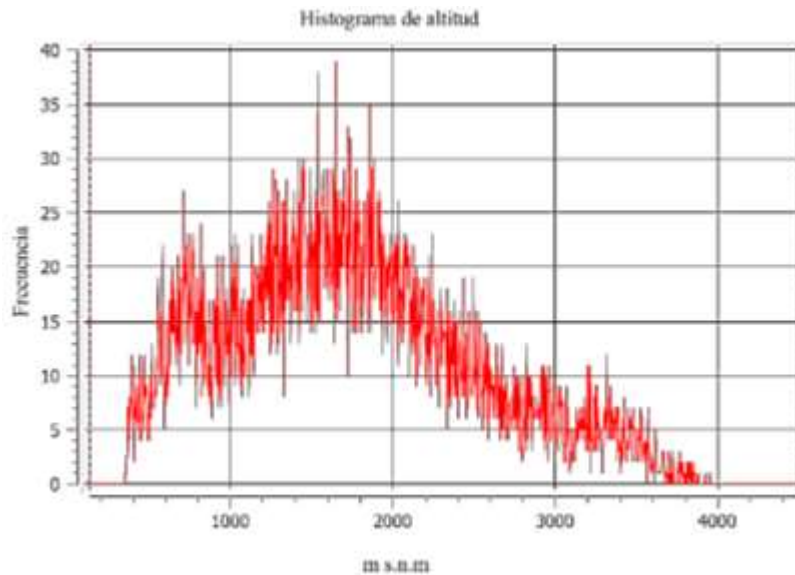
*Localización y extensión de las áreas de producción potencial de bambú (*Guadua angustifolia*) en la región Cajamarca influenciados por los factores topográficos*



Nota. Elaboración propia a partir de datos de la NASA SRTM.

Figura 8

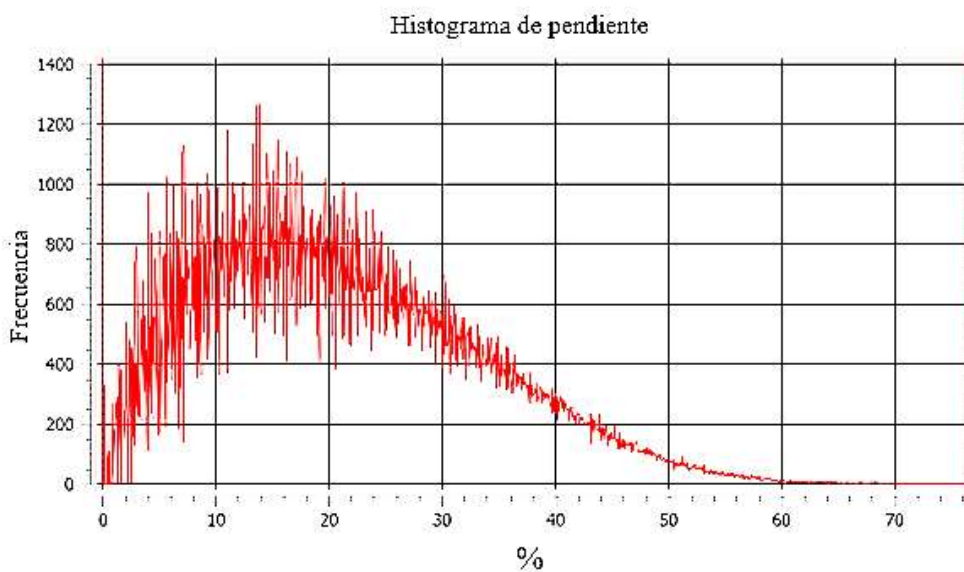
Histograma de frecuencia con de distribución de pixeles de la variable altitud en la región de Cajamarca



Nota. Elaboración propia.

Figura 9

Histograma de frecuencia con de distribución de pixeles de la variable pendiente en la región de Cajamarca



Nota. Elaboración propia.

Tabla 10

Aptitud forestal de las áreas de producción potencial de bambú (Guadua angustifolia) en la región Cajamarca influenciados por los factores topográficos

Aptitud	Área (ha)	Área (%)
No Apta	114 450,41	3,48
Aptitud Baja	924 367,00	28,12
Aptitud Media	1 530 470,00	46,55
Aptitud Alta	718 420,00	21,85
Total	3 287 707,41	100,00

Nota. Elaboración propia.

La evaluación de los factores topográficos para el establecimiento *G. angustifolia* en el departamento Cajamarca, los resultados que se presentan en la figura 8,9 y 10 y la tabla 10, nos indica que la región posee un potencial significativo; además que el 46,55 % del territorio correspondiente a 1 530 470 ha son media, el 21,85 % equivalentes a 718 420 ha son alta. Esta distribución espacial sugiere que la configuración del relieve tiene un fuerte impacto en la viabilidad productiva del bambú, de modo que, al combinar ambos niveles de idoneidad, tenemos más de las dos terceras partes del área total analizada son técnicamente aprovechables para ese uso forestal. Por el contrario, los lugares restringidos por condiciones físicas adversas son una minoría, ya que el 28,12 % refleja una aptitud baja y solamente el 3,48 % es considerado no apto, lo que ratifica que la topografía cajamarquina no es una limitante severa, sino es un recurso ventajoso para la proliferación de esta especie en la zona norte del Perú.

Nota. Elaboración propia a partir de datos de WorldClim V1 (1970-2000), SoilGrids (2020) y NASA-SRTM (2000).

Proporción de las áreas de producción potencial de bambú (Guadua angustifolia) por provincia en la región Cajamarca



Nota. Elaboración propia.

Tabla 11

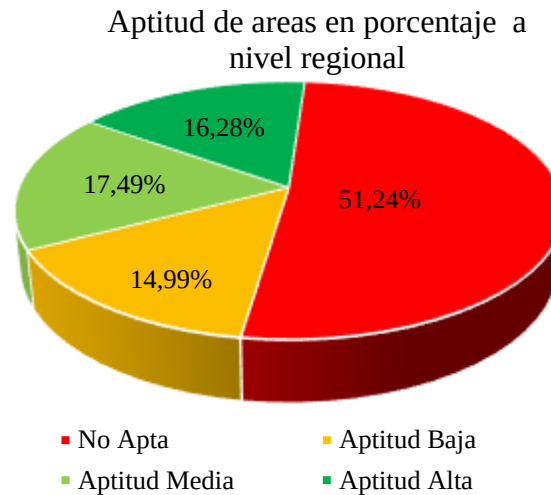
Localización y extensión de las áreas de producción potencial de bambú (Guadua angustifolia) en la región Cajamarca

Provincias	Aptitud Alta		Aptitud Media		Aptitud Baja		No Apto		Total
	Hectáreas	%	Hectáreas	%	Hectáreas	%	Hectáreas	%	
Cajabamba	30 713,42	5,74%	26 565,37	4,62%	9 900,64	60,84%	111 711,08	6,63%	178 890,51
Cajamarca	15 249,17	2,85%	39 984,13	6,95%	23 047,67	4,68%	219 548,92	13,03%	297 829,89
Celendín	12 644,33	2,36%	24 466,25	4,25%	31 110,44	6,31%	197 047,68	11,70%	265 268,7
Chota	77 538,89	14,49%	63 904,16	11,11%	44 983,84	9,13%	189 281,75	11,24%	375 708,64
Contumazá	12 313,89	2,30%	14 054,38	2,44%	25 731,07	5,22%	154 993,49	9,20%	207 092,83
Cutervo	44 152,59	8,25%	73 605,99	12,80%	75 965,27	15,42%	109 491,78	6,50%	303 215,63
Hualgayoc	4 067,29	0,76%	12 296,63	2,14%	6 501,55	1,32%	55 979,81	3,32%	78 845,28
Jaén	86 601,23	16,18%	92 678,27	16,11%	130 255,19	26,44%	196 850,96	11,68%	506 385,65
San Ignacio	174 057,16	32,53%	140 314,31	24,39%	83 458,14	16,94%	82 841,19	4,92%	480 670,8
San Marcos	18 537,11	3,46%	20 867,59	3,63%	10 537,38	2,14%	85 566,47	5,08%	135 508,55
San Miguel	16 080,43	3,00%	27 901,65	4,85%	29 963,29	6,08%	179 690,1	10,67%	253 635,47
San Pablo	5 007,67	0,94%	6 849,18	1,19%	4 983,02	1,01%	49 668,68	2,95%	66 508,55
Santa Cruz	38 172,88	7,13%	31 695,91	5,51%	16 273,01	3,30%	52 005,11	3,09%	138 146,91
TOTAL	535 136,06	100,00%	575 183,82	100,00%	492 710,51	158,83%	1 684 677,02	100,00%	3 287 707,41

Nota. Elaboración propia.

Figura 12

Aptitud de áreas en porcentaje a nivel regional



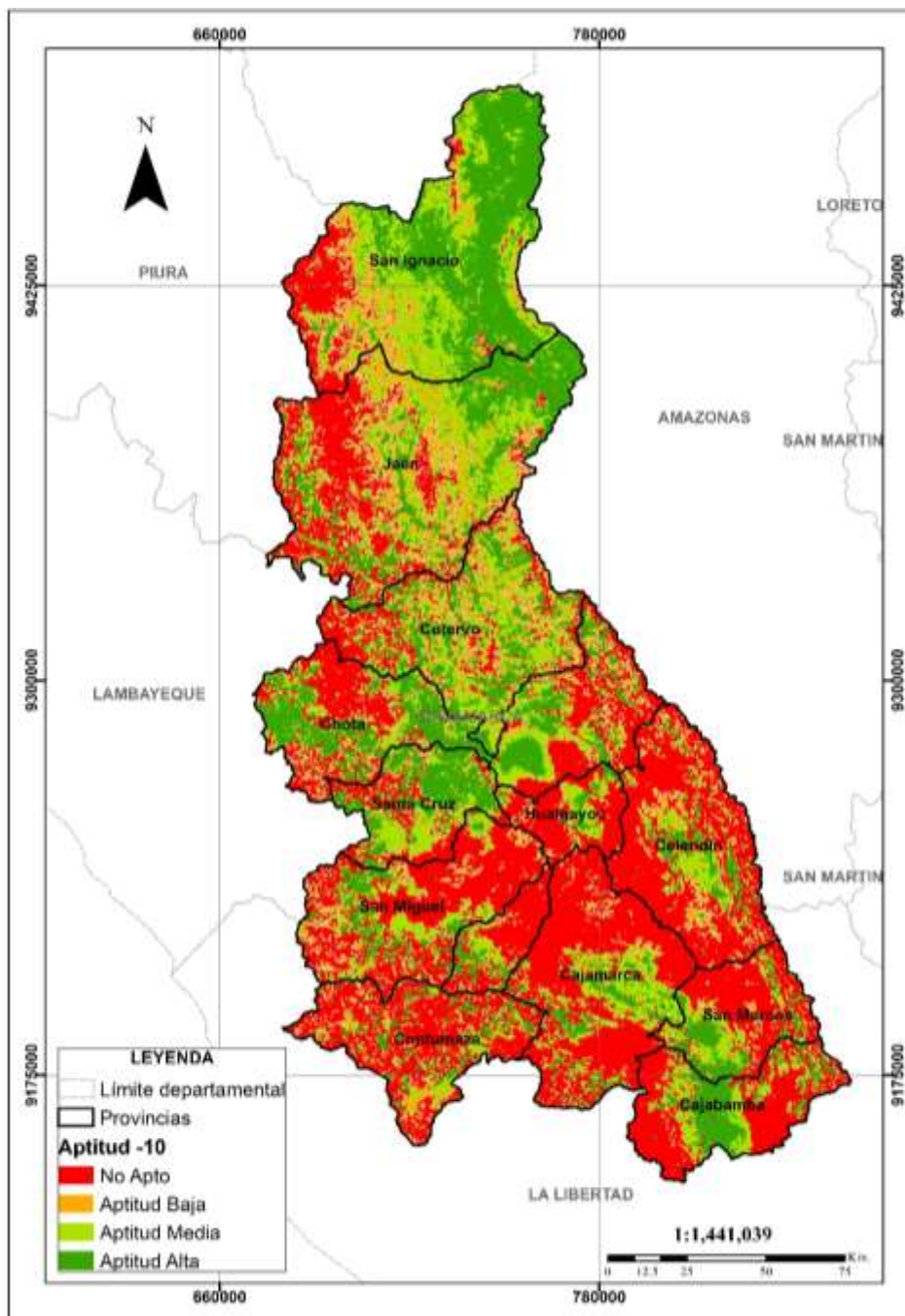
Nota. Elaboración propia.

En las Figuras 10 y 11 y en la Tabla 11, se muestra la zonificación de *Guadua angustifolia* en la región Cajamarca. En el análisis de la zonificación se apreció que la aptitud productiva tiene una distribución espacialmente heterogénea. La provincia de San Ignacio es la zona que nos ofrece el mayor potencial al presentar 174 057,16 hectáreas de aptitud alta representando el 32,53%. Le siguen la provincia de Jaén con 86 601,23 ha con 16,18% y Chota con 77 538,89 con el 14,49% que también son zonas que nos ofrecen un alto potencial. Los resultados evidencian que la parte norte de la región cuenta con las condiciones biofísicas más adecuadas para el desarrollo del bambú, contrariamente a provincias como Hualgayoc y San Pablo que tienen escasas áreas de óptima aptitud. A nivel regional se evidencia en la figura 12 y tabla 11, a pesar de que la categoría no apto ocupa la mayor superficie total con 1 684 677,02 ha que representa el 51,24% del área total, la suma de las superficies con alta y media aptitud supera el millón de has con 33,77%, lo cual sugiere un horizonte alentador para la expansión forestal y aprovechamiento económico de esta especie en el departamento.

4.1.4. Análisis de sensibilidad de pesos

Figura 13

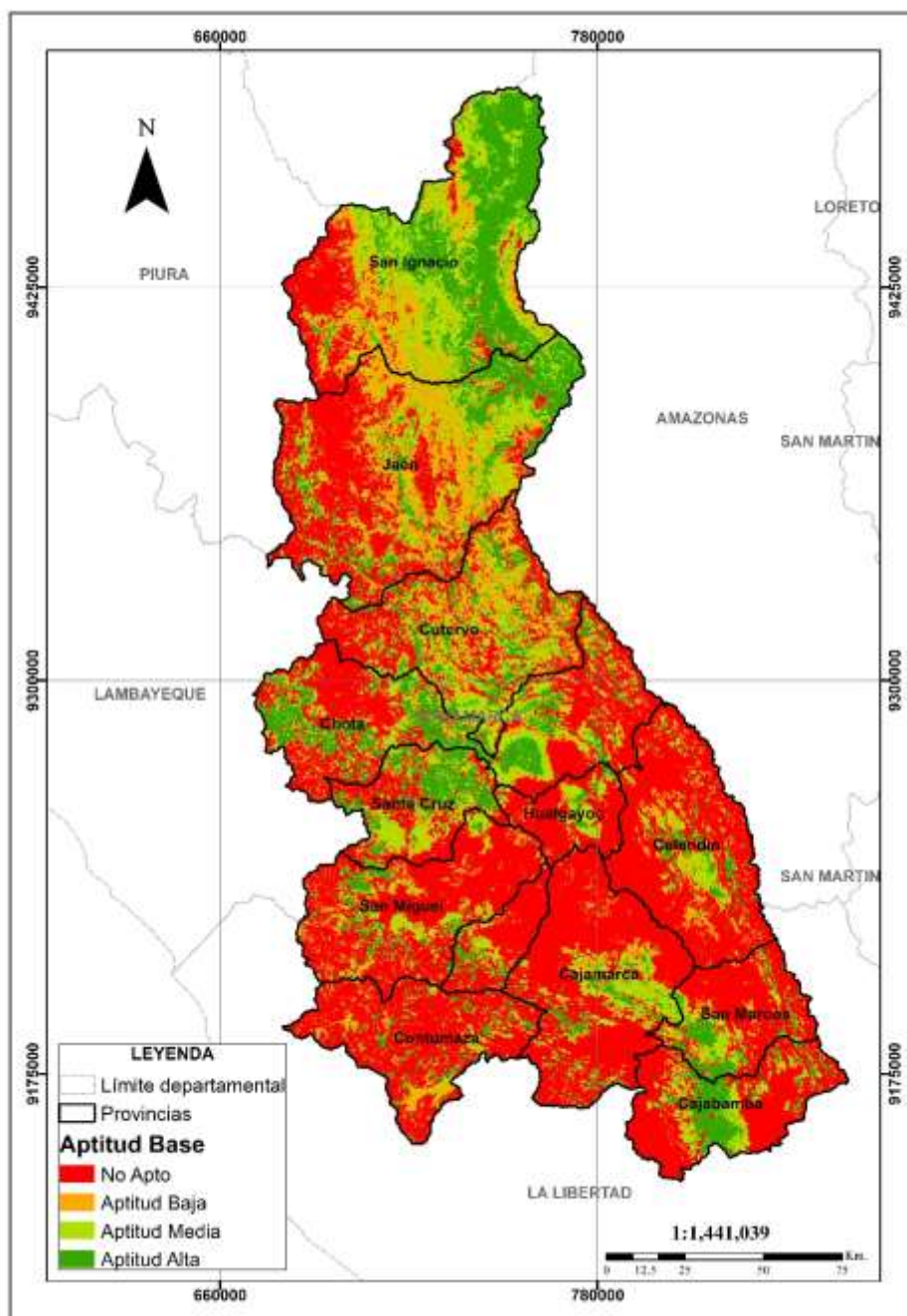
*Análisis de sensibilidad de la localización y extensión de las áreas de producción potencial de bambú (*Guadua angustifolia*) en la región Cajamarca, peso -10*



Nota. Elaboración propia.

Figura 14

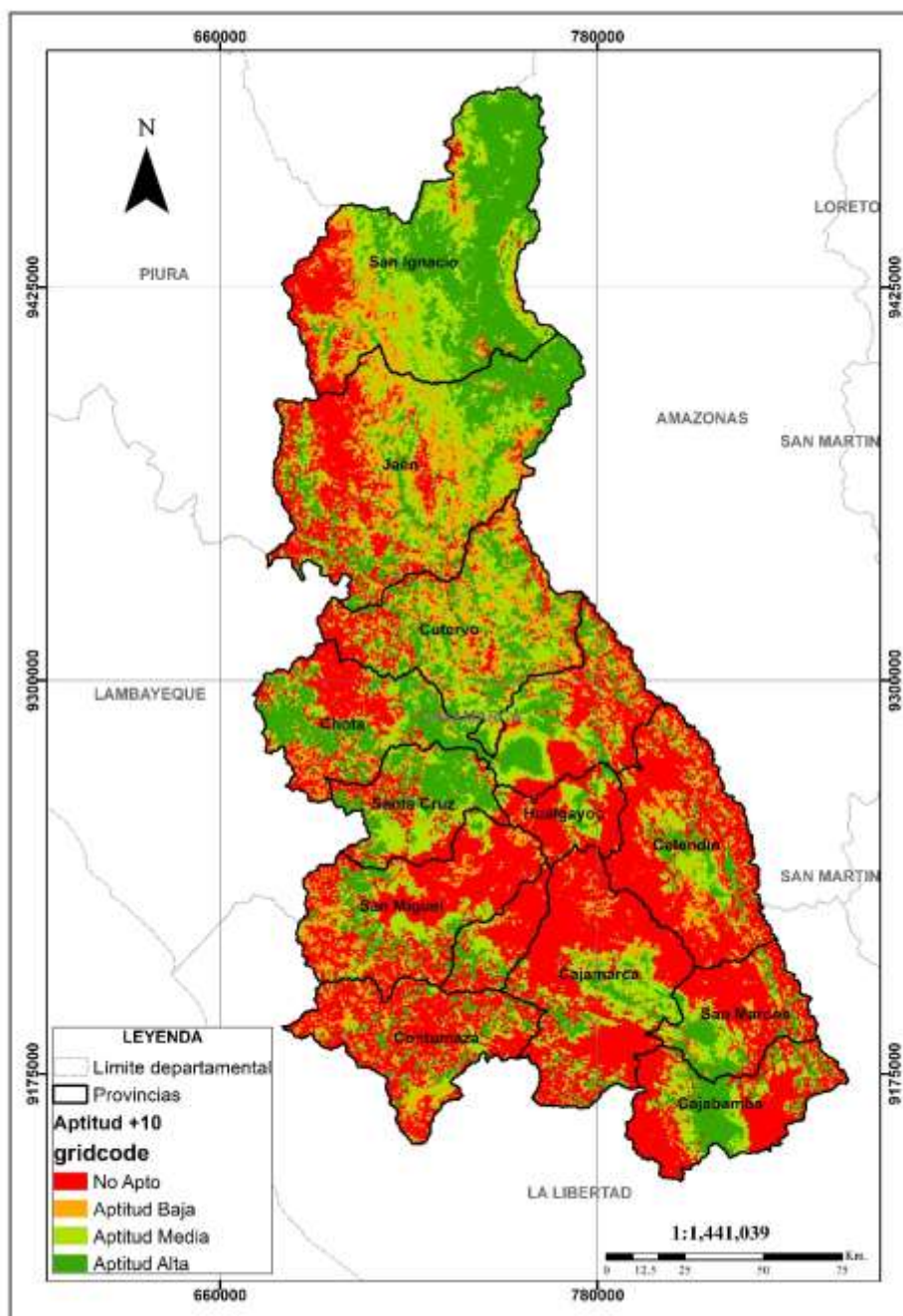
*Análisis de sensibilidad de la localización y extensión de las áreas de producción potencial de bambú (*Guadua angustifolia*) en la región Cajamarca, peso base*



Nota. Elaboración propia.

Figura 15

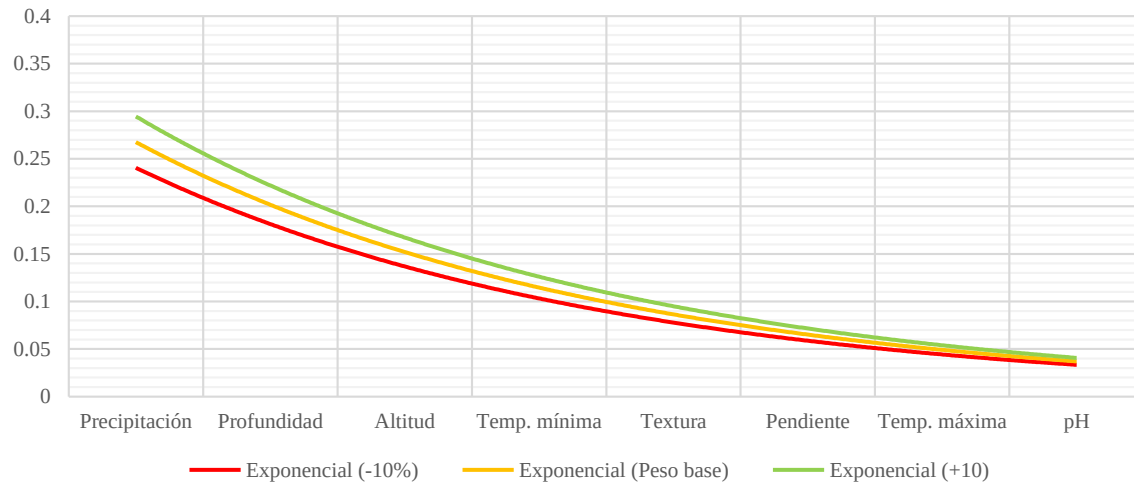
*Análisis de sensibilidad de la localización y extensión de las áreas de producción potencial de bambú (*Guadua angustifolia*) en la región Cajamarca, peso +10*



Nota. Elaboración propia.

Figura 16

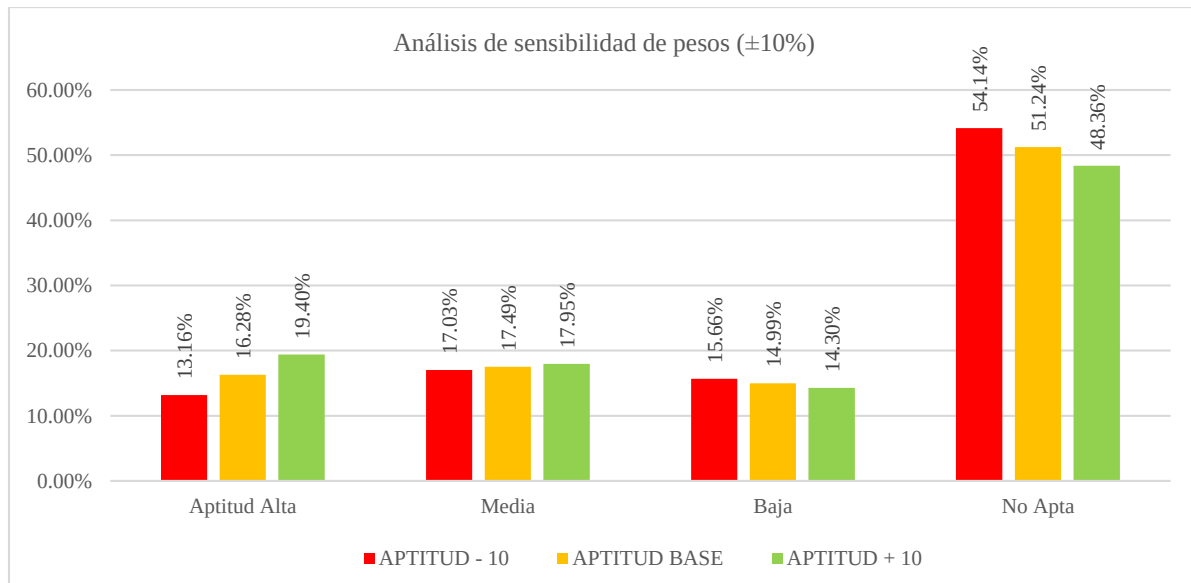
*Análisis de sensibilidad de pesos ($\pm 10\%$) por subcriterios de la localización y extensión de las áreas de producción potencial de bambú (*Guadua angustifolia*) en la región Cajamarca*



Nota. Elaboración propia.

Figura 17

*Análisis de sensibilidad de pesos ($\pm 10\%$) por aptitud de áreas de la localización y extensión de las áreas de producción potencial de bambú (*Guadua angustifolia*) en la región Cajamarca*



Nota. Elaboración propia.

En la figura 13, 14, 15, 16 y 17 se muestra la simulación de escenarios de sensibilidad quienes mostraron que la precipitación es el factor más determinante en la configuración del modelo, con variación absoluta de 0,066 y cambio de $\pm 10\%$ mostrando una influencia alta, junto a la profundidad quien presento una influencia secundaria significativa con variación absoluta 0,038 y cambio de $\pm 6\%$, mientras que variables como el pH, temperatura máxima y la pendiente evidenciaron una baja sensibilidad con variaciones absolutas de 0,008, 0,001 y 0,014 respectivamente con cambio de $\pm 2\%$. El incremento del peso para las clases de aptitud de áreas (ver figura 13, 14 y 15) produjo un aumento del 19,17% en las áreas con aptitud alta, seguido del 6,62% para áreas con clase no apta, 4,61% para la clase baja y 2,58 para la clase media; mientras que la reducción de pesos produjo una disminución del 19,14%, 5,66%, 4,52% y 2,64% para las clases alta, no apta, baja y media respectivamente. En general, el modelo mostró una estabilidad adecuada frente a variaciones moderadas en los pesos, lo que respalda su robustez.

4.2. Contrastación de hipótesis'

Se comprobó que la región Cajamarca si cuenta con áreas aptas para la producción de bambú (*Guadua angustifolia*) que pueden contribuir a la diversificación productiva de la región, con un 16,28 % de su superficie clasificada como aptitud Alta (Figura 12).

Tabla 12*Áreas aptas para la producción de bambú*

Nivel de Aptitud	Superficie (ha)	Porcentaje (%)	Factores Determinantes
Aptitud Alta	535 136,06	16,28%	Suelos profundos (60 cm), pH promedio (5,75) y altitud < 2 000 m s.n.m.
Media	575 183,82	17,49%	Limitaciones moderadas por pendiente (media 15%) o precipitación.
Baja	492 710,51	14,99%	Restricciones edáficas o topográficas mayores.
No Apta	1 684 677,02	51,24%	Condiciones críticas fuera del rango de la especie.
TOTAL	3 287 707,41	100,00%	

Nota. Elaboración propia.

La determinación de la aptitud potencial en base a variables climáticas, edáficas y topográficas en la región Cajamarca comprueba la hipótesis de que el departamento cuenta con áreas óptimas para la producción de bambú (*Guadua angustifolia*) como una alternativa de diversificación productiva. Según los resultados tabla 12 y figura 12, los factores ambientales tienen rangos favorables con una media de precipitación de 2 350 mm/año y temperaturas de entre 11 °C a 36 °C, condiciones que se ajustan a los requerimientos biológicos de la especie. En lo que refiere a aptitud territorial, los datos indican que el 16,28% (535 136,06 ha) de la superficie total, posee aptitud alta y el 17,49%, aptitud media (575 183,82 ha), es decir, más del 33% del territorio regional, con potencial productivo. A nivel provincial, sobresalen San Ignacio (174 057,16 ha) y Jaén (86 601,23 ha) que poseen la mayor extensión en clase de aptitud alta. Le siguen Chota y Cutervo. Con ello se lograría desarrollar geográficamente el recurso forestal, que permitiría aumentar significativamente la economía regional en base a su aprovechamiento. Esto se llevaría a cabo en suelos franco-arcillosos y en pendientes de hasta el 30%.

4.3. Discusión de resultados

Cajamarca cuenta con más de un millón de hectáreas con aptitud alta y media para el cultivo de bambú, destacando la provincia San Ignacio, que tiene 174 057,16 ha de aptitud óptima. Este resultado es mayor, en superficie absoluta, que el de Tarqui et al. (2025) en Bolivia, quienes, a partir de la metodología AHP, se identificaron 9 101,7 ha de alta aptitud para cultivos. La instalación de los diferentes tipos de plantas en la región (Jaén, San Ignacio, Chota) ha validado la eficiencia del uso de un modelo multicriterio. Al igual que en el estudio de Aversa et al. (2021) en Brasil, donde la combinación de variables biofísicas permitió priorizar zonas de restauración, la presente zonificación en Cajamarca ofrece una base científica robusta para la toma de decisiones, confirmando que la región no solo tiene el espacio físico, sino las condiciones metabólicas necesarias para consolidar al bambú como un eje de diversificación productiva.

Con relación a los factores climatológicos, se determinó que la región Cajamarca cuenta con un bioclima altamente favorable, dado que tiene una media de precipitaciones de 2 350 mm/año y temperaturas máximas de 36 °C. Los valores anteriormente citados coinciden con los requerimientos ecológicos descritos por Cruz-Armendáriz et al. (2023), quienes concluyen que el mejor desarrollo de *Guadua angustifolia* ocurre bajo climas cálido templados, con promedios de 2 642 mm de lluvia y 21,9 °C. Esta identificación, que representa el 74,54% del territorio, respalda la relevancia de las variables térmicas y pluviométricas como motores biológicos al considerar su aptitud entre media y alta y sus criterios climáticos. La predominancia de zonas aptas es mayor a la reportada en México (Morteo-Montiel et al., 2024) donde las restricciones climáticas y de conservación limitaron las de alta prioridad al 6,8% por lo que Cajamarca se presenta como una región comparativamente apta para el cultivo extensivo de bambú, debido a su régimen térmico relativamente estable.

En lo que respecta a los factores edáficos la *Guadua angustifolia* en Cajamarca, se desarrolla preferentemente en suelos con un pH promedio de 5,75 y texturas franco-arcillosas a franco-arenosas. Estos resultados son coherentes con el planteo realizado por Lohani et. al. (2023), ya que se establece que un pH ideal para las gramíneas leñosas es de 4,5 a 6. Además, la profundidad efectiva de 60 cm observada en el estudio asegura la fijación radical. Cabe destacar que García et. al (2021) indica que la especie presenta preferencia por suelos moderadamente profundos con buen drenaje. Si bien el 56,74% de la región presenta una baja aptitud por limitaciones físico- químicas, el 43,19% de tierras que presentan como medios y altos son una extensión importante. Este potencial edáfico es comparable en términos cualitativos al estudio de Cerón (2021), en Piura. Por medio de la identificación de suelos aptos para especies forestales nativas se permitió la zonificación de áreas críticas para la restauración. También se permite la zonificación de áreas para la producción, que demuestra que el manejo técnico puede sobrepasar las limitaciones de un sustrato.

Respecto a los elementos topográficos, la investigación reveló que el 68,4% del área objeto de análisis posee una aptitud alta o media, señalando que el rango óptimo es de 2 000 m s.n.m. y pendientes del 15%. Los resultados tienen que ver con las normas que estipulan el MIDAGRI (2021) y SERFOR (2021). Estas dos entidades mencionan que, aunque sea adaptable a la altura, las zonas de topografía de plano a ondulado son las que permiten la viabilidad económica por el ahorro en manejo y cosecha. La variabilidad topográfica que se presenta en Cajamarca es similar a la referida por Nath et al. (2021) en el Himalaya, donde el uso de modelos de evaluación de criterios múltiples permitió determinar que el 77% del área contaba con idoneidad para sistemas agroforestales. La unión de la pendiente y la altitud mediante SIG es un buen predictor del crecimiento forestal en zona escarpada.

En relación sobre las implicancias para la planificación regional la investigación integra sistemáticamente variables biofísicas y ambientales en la toma de decisiones, constituyendo un aporte metodológico importante, superando enfoques tradicionales quienes se basan en criterios aislados. Según Mendas & Delali (2012). El análisis multicriterio facilita la construcción de modelos espaciales con alta representatividad, optimizando el uso del suelo generando insumos técnicos para la zonificación ecológica y económica (ZEE). Evaluar la tierra basado en aptitudes permite tomar decisiones compatibles con la capacidad territorial y evitar la degradación y sobre explotación de los recursos naturales (Mendoza, 2009). AMC demuestra no solamente ser una herramienta técnica para identificación de aptitudes sino un instrumento estratégico para la gestión integral del territorio altoandino en Cajamarca.

Respecto a las limitaciones del estudio este posee limitada validación en campo debido a tiempo y presupuesto, la validación directa en las áreas identificadas no pudo asociarse de manera exhaustiva, por ello algunas áreas clasificadas con aptitud alta necesitarían verificaciones técnicas adicionales antes de implementar proyectos para la especie; el análisis fue desarrollado a escala regional lo cual permite identificar tendencias generales de aptitud, pero no sustituye estudios detallados a nivel local, además se centra solamente en la especie *G. angustifolia*, por lo que necesariamente los resultados no son extrapolables para otras especies con diferentes requerimientos ambientales. Estas limitaciones también fueron reconocidas por Tarqui et al. (2025) y Avera et al. (2021), quienes destacan la necesidad de complementar los modelos SIG y multicriterio con validaciones de campo y análisis específicos para fortalecer la precisión y aplicabilidad de los resultados.

Respecto a la utilidad práctica del modelo, este constituye una herramienta de apoyo para la planificación territorial la toma de decisiones y la gestión sostenible de los recursos naturales

mediante la integración de criterios ambientales con un entorno SIG, permitiendo identificar de manera espacial las zonas con aptitud potencial para el establecimiento y desarrollo del cultivo de *G. angustifolia*. Asimismo, contribuye a orientar programas de reforestación, recuperación de áreas degradadas, promoviendo beneficios ambientales como la conservación de suelos y captura de carbono. Estos resultados coinciden con investigaciones previas que destacan la eficiencia de los modelos multicriterio para la evaluación de aptitud territorial y priorización de áreas de intervención potencial y productiva (Tarqui et al., 2025; Morteo-Montiel et al., 2024 y Aversa et al., 2021).

CAPÍTULO V. Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

Se determinó que la región Cajamarca posee una superficie con alto potencial para el cultivo de *G. angustifolia*, sumando más de un millón de hectáreas entre aptitud alta y media. Espacialmente, la producción se concentra en el sector norte, destacando la provincia de San Ignacio con 174 057,16 hectáreas de aptitud óptima, seguida por Jaén con 86 601,23 hectáreas y Chota 77 538,89 hectáreas.

Los factores climáticos actúan como el principal motor biológico para el desarrollo del bambú en la zona, identificándose una precipitación media de 2350 mm/año y temperaturas máximas de hasta 36 °C. Estos parámetros, sumados a una temperatura mínima que generalmente supera los 5 °C, crean un ambiente tropical y de ceja de selva propicio. Bajo estas condiciones, el 74,54% del territorio regional presenta una aptitud entre media y alta para el metabolismo de la especie.

En cuanto a los factores edáficos, el éxito del anclaje y nutrición de *Guadua angustifolia* en Cajamarca depende de suelos con pH promedio de 5,75 y texturas franco-arcillosas a franco-arenosas. Aunque el 51,24% de la región presenta aptitud no apta debido a limitaciones físico-químicas, existe un 43,19% de tierras con condiciones medias y altas. La profundidad efectiva de 60 cm reportada garantiza un desarrollo radicular adecuado para la sostenibilidad de las plantaciones forestales.

La topografía de la región Cajamarca se identificó como un factor favorable y versátil, con un 68.4% del área analizada categorizada como aptitud alta y media. El rango altitudinal óptimo se sitúa por debajo de los 2 000 m s.n.m., con pendientes moderadas que promedian el 15%.

Recomendaciones

Se recomienda al Gobierno Regional Cajamarca y a las Agencias Agrarias priorizar la zonificación de las inversiones forestales en las provincias de San Ignacio, Jaén y Chota. Es necesario crear programas de transferencia tecnológica que utilicen el millón de hectáreas que tienen alta aptitud.

La Dirección Meteorológica Regional y las entidades de gestión ambiental deben establecer monitoreo climático en ceja de selva. Debido a que la región presenta un 74,54% del territorio con aptitud climática media y alta, así como la necesidad de generar modelos predictivos sobre la variabilidad de precipitaciones y temperaturas. Esto permitirá a los silvicultores mitigar riesgos climáticos que puedan afectar al cultivo, así como también optimizar los ciclos biológicos de la especie.

Se recomienda a la Gerencia de Desarrollo implementar planes de enmiendas edáficas y fertilización orgánica en áreas con limitaciones físico-químicas. Aun cuando hay un 43,19 % de tierras con aptitud, el trabajo técnico en suelos franco-arcilloso favorece el anclaje. La institucionalización de un programa de análisis de suelos permitirá a los productores manejar el pH de 5,75 de una manera técnica que asegure la durabilidad y sostenibilidad de las plantaciones.

Al SERFOR y oficinas de catastro rural que integren criterios topográficos en la delimitación de nuevas concesiones forestales. Como el relieve se muestra versátil hasta 2 000 m s.n.m., se deberían diseñar sistemas de cosecha mecanizada en pendientes de 15% en adelante. La planificación institucional debería priorizar estas áreas bajas para la reducción de costos logísticos y el óptimo manejo del bambú.

CAPÍTULO VI. Referencias

- Abe, Y., & Shibata, S. (2014). Seed germination and seedling establishment of the monocarpic dwarf bamboo *Sasa veitchii* var. *hirsuta*. *Journal of Forest Research*, 19(1), 166-173.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s10310-013-0397-y>
- Afanador-Barajas, L. N., Coca-Peña, D. A., Vargas-Giraldo, A. P., Bautista-Murcia, M. F., Mendoza-Hernández, A., & Vallejo-Quintero, V. E. (2020). Evaluación de la calidad de suelos en agroecosistema. como de Colombia a través de la selección de un conjunto mínimo de datos. *Colombia forestal*, 23(1), 54 -77.
<http://dx.doi.org/10.14483/2256201X.14856>
- Añazco, M. J. (2019). Vulnerability of ecosystems with *Guadua angustifolia* in Ecuador in light of climate changes. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 49. <https://doi.org/10.1590/1983-40632019v4955405>
- Antúñez, P., López Serrano, P. M., González Adame, G., Rubio Camacho, E. A., & Mendoza Díaz, M. M. (2022). Efecto de la altitud, pendiente y exposición geográfica en la distribución de helechos arborescentes. *Acta botánica mexicana*, (129).
<https://doi.org/10.21829/abm128.2021.1924>
- Avena, V. R., de Mello, K., Fernandez, M. J. y Americo, C. (2021). A multicriteria evaluation approach to set forest restoration priorities based on water ecosystem services. *Journal of Environmental Management*, 285, 112049.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112049>
- Ayer, S., Timilsina, S., Aryal, A., Acharya, A. K., Neupane, A., & Bhatta, K. P. (2023). Bamboo forests in Nepal: status, distribution, research trends and contribution to local livelihoods.

Advances in Bamboo Science, 4, 100027.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.bamboo.2023.100027>

Battisti, R., Casaroli, D., Alves Júnior, J., Evangelista, A. W. P., & Mesquita, M. (2019). Agro-climatic zoning of bamboo as a support for crop farming in the central-north region of the Brazilian Savannah. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 49, e52794.
<https://www.scielo.br/j/pat/a/j3CVgZXGXCZw4ctWCnJtPYt/?format=html&lang=en>

Bernal Meza R., (2023). Estrategias de seguridad ambiental en América Latina y el Caribe: construyendo resiliencia. Primera edición. -- Bogotá: Fundación Konrad Adenauer- 432.
<http://www.kas.de/energie-klima-latinoamerika/>

Bustillos-Herrera, J. A., Valdez-Lazalde, J. R., Aldrete, A., & González-Guillén, M. D. (2007). Aptitud de terrenos para plantaciones de eucalipto (*Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden): Definición mediante el proceso de análisis jerarquizado y SIG. *Agrociencia*, 41(7), 787-796. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30220237008>

Cabrera, B., & Delgado, C. (2005). Evaluación de adaptabilidad de la guadua (*Guadua angustifolia* Kunt.) en las veredas Caldera Bajo y San Antonio, municipio de Pasto-Nariño. <https://sired.udenar.edu.co/15134/>

Camargo C., Montoya A., y Prieto M (2025). Anato-morphological and chemical characterization of bamboo (*Guadua amplexifolia* J. Presl) from San Jorge River Basin, Colombia. *Cleaner Engineering and Technology*, 24 (1-2), 100884. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2025.100884>

Cauba Jr, A. G., Cunanan, C. D., & Monteclaro, R. B. (2024). Using GIS and Analytical Hierarchy Process (AHP) for suitability mapping of potential sites of bamboo species plantation in Agusan del Norte. *International Exchange and Innovation Conference on Engineering & Sciences*, 1(10), 319-324. <https://hdl.handle.net/2324/7323280>

Centro Nacional de Planeamiento Estratégico – CEPLAN (2023) Análisis de la deforestación y pérdida de vegetación a nivel nacional y el impacto a nivel regionales.

https://geo.ceplan.gob.pe/uploads/Analisis_deforestacion.pdf

Cerón Cancharis, Z. L. (2021). *Áreas potenciales para plantaciones forestales con especies nativas en la provincia de Talara-Piura* [Tesis de Grado, Universidad Nacional Agraria la Molina]. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/4902>

Chan, K. N., Liang, Z., Kisvarga, S., Veres, A., Hamar-Farkas, D., Orlóci, L., & Neményi, A. (2022). Shoot phenology in Bambusoideae: A review. *International Journal of Plant Biology*, 13(4), 579-597. <https://doi.org/10.3390/ijpb13040046>

Chen, L., Zhang, X., Tang, C., & Gan, X. (2017). Effects of Site Factors on the Clonal Growth of *Phyllostachys bambusoides* f. *shouzhu* Yi. *Journal of Plant Science and Phytopathology*, 1(2), 071-079. <https://core.ac.uk/download/pdf/208849345.pdf>

Cheng, X. F., Shi, P. J., Hui, C., Wang, F. S., Liu, G. H., & Li, B. L. (2015). An optimal proportion of mixing broad-leaved forest for enhancing the effective productivity of moso bamboo. *Ecology and evolution*, 5(8), 1576-1584. <https://doi.org/10.1002/ece3.1446>

Condori-Ojeda, P. (2020). *Niveles de investigación* [Archivo PDF]. <https://www.aacademica.org/cporfirio/17>

Cruz-Armendáriz, N. M., Ruiz-Sanchez, E., & Reyes-Agüero J. A. (2023). Servicios ecosistémicos de las especies nativas e introducidas de bambú en la Huasteca Potosina, México: usos del bambú. *Acta Botanica Mexicana* 130. <https://doi.org/10.21829/abm130.2023.2132>

Devi, A. S., & Singh, K. S. (2021). Carbon storage and sequestration potential in aboveground biomass of bamboos in North East India. *Scientific Reports*, 11(1), 837.

<https://www.nature.com/articles/s41598-020-80887-w>

Dirección de Cambio Climático & Ministerio de Ambiente y Energía (2021). Guía para la priorización de medidas de adaptación al cambio climático utilizando el método Análisis Multicriterio. Proyecto Plan A: Territorios Resilientes ante el Cambio Climático. DCC-MINAE. San José, Costa Rica. 41pp. <https://cambioclimatico.go.cr/wp-content/uploads/2021/09/Guía-de-Análisis-Multicriterio-Guía-para-la-priorizacion-de-medidas-de-adap-tación-al-cambio-climático-utilizando-el-Método-de-Análisis-Multicriterio.pdf>

Durán, Y. (24 de marzo de 2021). ¿Qué son los Sistemas de Información Geográfica (SIG)? *IDRICA*. <https://www.idrica.com/es/blog/sistemas-de-informacion-geografica/>

Escobar, L.C.R. (22 de febrero de 2024). Preocupación en Perú por una reforma legal que puede incentivar la deforestación. <https://elpais.com/america-futura/2024-02-23/preocupacion-en-peru-por-una-reforma-legal-que-puede-incentivar-la-deforestacion.html>

García Díaz, R., González-Martínez, C., Camilo Pérez, C., Forero Castiblanco, D., Mahecha Vásquez, G., Herrera Silva, A., & Nieto Castillo, C. (2021). *La guadua (Guadua angustifolia) Kunth: El oro verde por descubrir*. Corporación Universitaria Minuto de Dios. <https://tinyurl.com/bib101459>

Gobierno Regional Cajamarca (2014). Biodiversidad de Cajamarca. Basado en la estrategia regional de Cajamarca al 2021. <https://siar.regioncajamarca.gob.pe/sites/default/files/archivos/public/docs/1515.pdf>

Guo, Z., Lin, H., Chen, S., & Yang, Q. (2018). Altitudinal patterns of leaf traits and leaf allometry in bamboo *Pleioblastus amarus*. *Frontiers in plant science*, 9, 1110.

<https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2018.01110/full>

Hao P., (2021) *Spatial Analysis*. Universidad Bautista de Hong Kong, Hong Kong.

Haro, S. A. F., Chisag, P. E. R., Ruiz, S. J. P., & Caicedo, P. J. E. (2024). Tipos y clasificación de las investigaciones. *Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades* 5 (2), 956 – 966. <https://doi.org/10.56712/latam.v5i2.1927>

Head O, C., Wallingford y UK (2022). *GuduaGuadua Angustifolia*. <https://doi.org/10.1079/cabicompendium.26057>

Huang, H., Heuninckx, S. & Macharis, C. (2024). 20 years review of the multi actor multi criteria analysis (MAMCA) framework: a proposition of a systematic guideline. *Annals of Operations Research*. <https://doi.org/10.1007/s10479-024-06357-y>

Instituto Geográfico Nacional - IGN (2024). *Posicionamiento Geodésico Estático Relativo con Receptores del Sistema Satelital de Navegación Global*.

<https://app8.ign.gob.pe/GestionDocumental/Documento.aspx?id=2634>

Instituto Nacional de Estadística e Informática - INEI (2023). *Cajamarca: Compendio Estadístico 2023*. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/6073235/5377908-compendio-estadistico-cajamarca-2023.pdf>

Isukuru, E. J., Ogunkeyede, A. O., Adebayo, A. A., & Uruejoma, M. F. (2023). Potentials of bamboo and its ecological benefits in Nigeria. *Advances in Bamboo Science*, 4, 100032. <https://doi.org/10.1016/j.bamboo.2023.100032>

Kaushal, R., Singh, I., Thapliyal, S. D., Gupta, A. K., Mandal, D., Tomar, J. M. S., Kumar, A., Alam, N. M., Kadam, D., Singh, D. V., Mehta, H., Dogra, P., Ojasvi, P. R., Reza, S., &

- Durai, J. (2020). Rooting behaviour and soil properties in different bamboo species of Western Himalayan Foothills, India. *Scientific Reports*, 10(1), 4966.
<https://doi.org/10.1038/s41598-020-61418-z>
- Kees, Se., Loto, D., Azcona, M., Telleria, S., Manghi, E., Gaitán, J., Chifarelli, V., & Peri, P. (2022). Determinación de la calidad de sitio y productividad de los bosques de Palo Santo en el norte de Argentina. *Bosque (Valdivia)*, 43(3), 301-310.
<https://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002022000300301>
- Kleinn, C & Morales-Hidalgo, D. (2006) An inventory of Guadua (*Guadua angustifolia*) bamboo in the Coffee Region of Colombia. *European Journal of Forest Research* 125(4):361-368.
<https://doi.org/10.1007/s10342-006-0129-3>
- Li, X., Mao, F., Du, H., Zhou, G., Xing, L., Liu, T., Han N., Liu Y, Zhu D., Zheng J., Dong L & Zhang, M. (2019). Spatiotemporal evolution and impacts of climate change on bamboo distribution in China. *Journal of Environmental Management*, 248, 109265.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109265>
- Lohani, T. K., Sigu, G., Oduor, N., Reza, S., & Durai, J. (2023). Species-Site Suitability Assessment of Bamboo and Its Detailed Study in Different Agroecological Zones of Kenya. *International Journal Of Forestry Research*, 1-10.
<https://doi.org/10.1155/2023/8859316>
- Lohani, T. K., Sigu, G., Oduor, N., Reza, S., & Durai, J. (2023). Species-Site Suitability Assessment of Bamboo and Its Detailed Study in Different Agroecological Zones of Kenya. *International Journal of Forestry Research*, 2023(1), 8859316.
<https://doi.org/10.1155/2023/8859316>

- López-Cuadra, Y. M., Carrasco Vega, Y. L., Mori Zavaleta, R., Cunias Rodríguez, M. Y., Carril-Verástegui, B., & Alvarado Ibáñez, J. C. (2023). Aspectos socioeconómicos y ambientales del cultivo de bambú en el distrito de Imaza, Amazonas. *Universidad Ciencia Y Tecnología*, 2023, 10-20. <https://doi.org/10.47460/uct.v2023iSpecial.696>
- López-Cuadra, Y. M., Carrasco, V. Y. L., Mori, Z. R., Cunias, R. M. Y., Carril-Verástegui, B., & Alvarado, I. J. C. (2023). Aspectos socioeconómicos y ambientales del cultivo de bambú en el distrito de Imaza, Amazonas. *Universidad Ciencia Y Tecnología*, 27, 10-20. <https://doi.org/10.47460/uct.v2023iSpecial.696>
- Malczewski, J., & Rinner, C. (2015). Multicriteria decision analysis in geographic information science. New York: Springer. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-540-74757-4>
- Marín D., Guedez Y y Márquez de Hernández L (2011). Guadua (*Guadua angustifolia* Kunth) and bamboo (*Bambusa vulgaris* Schrad.) plantations in San Javier, Yaracuy state, Venezuela. II. Nutrient return and litterfall decomposition. *Fac. Agron. (LUZ)*, 28, 185-204. https://www.revfacagronluz.org.ve/PDF/abril_junio2011/v28n2a2011185204.pdf
- Marques, M., Reynolds, K.M., Marto, M., Lakicevic, M., Caldas, C., Murphy, P.J., & Borges, J.G. (2021). Multicriteria Decision Analysis and Group Decision-Making to Select Stand-Level Forest Management Models and Support Landscape-Level Collaborative Planning. *Forests*, 12, (4), 399. <https://doi.org/10.3390/f12040399>
- Maulana, M.I., Jeon, W.S., Purusatama, B.D., Kim, J.H., Prasetia, D., Yang, G.U., Savero, A.M., Nawawi, D.S., Nikmatin, S., Sari, R.K., Febrianto, F., Lee, S.H., y Kim, N. H. (2022). Anatomical characteristics for identification and quality indices of four promising commercial bamboo species in Java, Indonesia. *Bio. Res.* 17, 1442–1453. <https://doi.org/10.15376/biores.17.1.1442-1453>.

- Mendas, A. & Delali, A. (2012). Integration of MultiCriteria Decision Analysis in GIS to develop land suitability for agriculture: Application to durum wheat cultivation in the region of Mleta in Algeria. *Computers and electronics in agriculture*, 83, 117-126.
<https://doi.org/10.1016/j.compag.2012.02.003>
- Mendoza, M. E. (2009). *Análisis de la aptitud territorial. Una perspectiva biofísica*. Instituto Nacional de Ecología.
https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=WwuxMMhFEX0C&oi=fnd&pg=PA7&dq=Evaluar+la+tierra+basado+en+aptitudes+permite+tomar+decisiones+compatibles+con+la+capacidad+territorial+y+evitar+la+degradaci%C3%B3n+y+sobre+explotaci%C3%B3n+de+los+recursos+naturales&ots=urV5MdriUU&sig=S0OyzNKSoWuU4z6rV2kwCBKsxGw&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- Mérida Mijangos, W. O. (2022). *Aplicaciones de bambú para grandes luces, Guatemala, Guatemala* [Tesis de Grado, Universidad de San Carlos de Guatemala].
<http://www.repositorio.usac.edu.gt/16957/>
- Ministerio De Desarrollo Agrario y Riego (2021). *Manual de manejo integral del bambucillo (Phyllostachys aurea) Experiencias en la Selva Central del Perú* [Archivo PDF].
<https://www.gob.pe/institucion/serfor/informes-publicaciones/2179361-manual-de-manejo-integral-del-bambucillo-experiencias-en-la-selva-central-del-peru>
- Moreira - Franco, L.F.,y Ortega - Ordóñez, C.F. (2021). Análisis jerárquico aplicado a la determinación de la fragilidad ambiental de la subcuenca del Río Carrizal. Polo del Conocimiento (Edición núm. 56), 6 (3), 15-39. DOI: [10.23857/pc.v6i3.2349](https://doi.org/10.23857/pc.v6i3.2349)
- Morteo-Montiel, S., Bonilla-Moheno, M. & Toledo-Aceves, T. (2024). Identificación de áreas prioritarias para la restauración de bosques de montaña en la zona alta de la cuenca del río

- La Antigua, Veracruz. *Revista mexicana de biodiversidad*, 95.
<https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2024.95.5342>
- Muñoz, F. H. J., Sáenz, R. J. T., Hernández, R. J., Orozco, G. G., & Barrera, R. R. (2021). Plantación de cuatro especies de bambú establecidas en el trópico seco de Michoacán, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 12(65).
<https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i65.788>
- Nath, A. J. M., Kumar, R., Devi, B. N., Rocky, P., Giri, K., Sahoo, U. K., Bajpai, R. K., Sahu, N., & Pandey, R. (2021). Agroforestry land suitability analysis in the Eastern Indian Himalayan región. *Environmental Challenges*, 4, 100199.
<https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100199>
- Núñez, S. (2023). Elementos y factores del clima. *Ecología verde*.
<https://www.ecologiaverde.com/elementos-y-factores-del-clima-3167.html>
- Paucar, R., & Llerena, L. (2018). *Manual técnico de la caña Guayaquil (Guadua angustifolia): Sistematización de experiencias en la Región Piura*. <http://repositorio.serfor.gob.pe/handle/SERFOR/523>
- Portillo, G. (2023). Edafología: qué es, características e importancia. *Ecología verde*.
<https://www.ecologiaverde.com/edafologia-que-es-caracteristicas-e-importancia-4652.html>
- Raghav, A. (2024). B7: Article Series on Important Species for NBS Projects: Guadua angustifolia (Guadua Bamboo). LinkedIn. <https://www.linkedin.com/pulse/b7-article-series-important-species-nbs-projects-guadua-abhay-raghav-mcrqc>
- Román, A.A.G. y Aguilar, C.J.A. (2023). *Propuesta de aplicación del método de análisis multicriterio con el software ArcGis, para la selección eficiente de la ruta preliminar de*

la vía de evitamiento de la ciudad de Abancay [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/27083>

Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (2021). *Manual de manejo integral del bambú (Guadua angustifolia Kunth). Experiencias en la región Amazonas* [Archivo PDF]. <http://repositorio.serfor.gob.pe/handle/SERFOR/919>

Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (2022). *Estrategia Nacional para el Desarrollo del Bambú (PROBAMBU) 2022-2025*. [Archivo PDF]. <https://www.gob.pe/institucion/serfor/informes-publicaciones/3728305-estrategia-nacional-para-el-desarrollo-del-bambu-probambu-2022-2025>

Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre [SERFOR] (2026). Estudio identifica más de 6 400 hectáreas de bambú en corredor nororiente peruano. <https://www.gob.pe/institucion/serfor/noticias/1352243-estudio-identifica-mas-de-6-400-hectareas-de-bambu-en-corredor-nororiente-peruano>

Shi, P., Preisler, H. K., Quinn, B. K., Zhao, J., Huang, W., Röhl, A., Cheng X., Li H & Hölscher, D. (2020). Precipitation is the most crucial factor determining the distribution of moso bamboo in Mainland China. *Global Ecology and Conservation*, 22, e00924. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e00924>

Shrine, S. (2024). Geographic Information Systems (GIS). *Agriculture & Food E-Newsletter*. 6(6), 316-318. https://www.researchgate.net/publication/381109950_Geographic_Information_Systems_GIS

- Tao, H., Kingston, K., Xu, Z., Hosseini Bai, S., Guo, L., Liu, G., Guanglu Liu & Liu, W. (2024). Predicting potential suitable areas of *Dendrocalamus brandisii* under global climate change. *Forests*, 15(8), 1301. <https://www.mdpi.com/1999-4907/15/8/1301>
- Tarqui, D. M., Blanco, V. M. W., Cari, M. M. E., & López, B. C. (2025). Identificación de Áreas Potenciales Productivas para el Cultivo de Quinoa (*Chenopodium quinoa* wild), mediante Análisis Multicriterio Uni-Objetivo. *Sapiens Studies Journal*, 2(1), 1-16. <https://doi.org/10.71068/tcj11g25>
- Thang L, T., YanxiaL. y JayaramanD. (2022) Especies prioritarias mundiales de bambú de importancia económica. Informe técnico n.º 44 de INBAR. Organización Internacional del Bambú y el Ratán. Pekín, China.
https://www.inbar.int/resources/inbar_publications/global-priority-species-economically-important-bamboo/
- Tian, W., Du, G., Guo, M & Liu, X. (2024). Environmental assessment of bamboo-based multilayer composites: a life cycle analysis perspective. *International Journal of Industrial Chemistry*, 15(2), 40-48. <https://doi.org/10.62517/ijem.202403308>
- Universitat Carlemany. (9 de noviembre de 2024). La edafología como la nueva ciencia emergente derivada de la geología. UCMA.
<https://www.universitatcarlemany.com/actualidad/blog/edafologia-por-que-es-importante-estudiar-la-naturaleza-del-suelo/>
- Wang, X., Zhang, R., Zhang, K., Shao, L., Xu, T., Shi, X., Li, D., Zhang, J., & Xia, Y. (2022). Development of a Multi-Criteria Decision-Making Approach for Evaluating the Comprehensive Application of Herbaceous Peony at Low Latitudes. *International journal of molecular sciences*, 23(22), 14342. <https://doi.org/10.3390/ijms232214342>

- Xiao, L., Li, C., Cai, Y., Zhou, T., Zhou, M., Gao, X. & Zhou, Y. (2021). Interactions between soil properties and the rhizome-root distribution in a 12-year Moso bamboo reforested region: Combining ground-penetrating radar and soil coring in the field. *Science of the Total Environment*, 800, 149467. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149467>
- Yadav, S. (15 de abril de 2023). Overlay Analysis. *Geographic Book*. <https://geographicbook.com/overlay-analysis/>
- Yang, C., Xu, Y., Hänninen, H., Deng, S., Innes, J. L., & Gui, R. (2023). Shoot buds of subtropical running bamboos demonstrate endodormancy and chilling requirements for their release. *Industrial Crops and Products*, 200, 116872. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.116872>
- Yang, Z., Cao, Y., Zhao, J., Zhou, B., Ge, X., Li, Q., & Li, M. (2020). Root response of moso bamboo (*Phyllostachys Edulis* (Carrière) J. Houz.) seedlings to drought with different intensities and durations. *Forests*, 12(1), 50. <https://doi.org/10.3390/f12010050>
- Yebeyen, D., Nemomissa, S., Hailu, B. T., Zewdie, W., Sileshi, G. W., Rodríguez, R. L., & Woldie, T. M. (2022). Modeling and mapping habitat suitability of highland bamboo under climate change in Ethiopia. *Forests*, 13(6), 859. <https://www.mdpi.com/1999-4907/13/6/859>
- Zhao, H., Yang, X., Shi, S., et al. (2023). Climate-driven distribution changes for *Bashania fargesii* in the Qinling Mountains and its implication for panda conservation. *Global Ecology and Conservation*, 46, e02610. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2023.e02610>

CAPÍTULO VII. ANEXOS

