

# **Potencial del Territorio para cultivos agroindustriales en la provincia Tahuamanu, Madre de Dios**

Guiuseppe Melecio Torres Reyna

Juan José Palacios Vega

Etssy Yovanka Ayram Rodríguez Najar

## **OBJETIVO**

Identificar áreas con potencial para cultivos de cuatro especies agroindustriales en la provincia Tahuamanu

## **MATERIALES Y MÉTODO**

Localización del área de estudio

La provincia de Tahuamanu tiene una superficie de 2'031458 has, donde existe un buen capital de recursos naturales, y por donde pasa el proyecto vial más importante en la zona sur del país, como es la carretera Interoceánica.

Tahuamanu es una de las tres provincias que conforman el departamento de Madre de Dios. Limita al norte con Brasil, al este con Bolivia, al sur con la provincia de Tambopata y al oeste con la Región Ucayali. La provincia de Tahuamanu, está conformado por tres distritos:

- Iñapari, localizado hacia el norte de la provincia, con una extensión territorial de 14853.66 km<sup>2</sup>.
- Iberia, localizado en la parte central, con una extensión territorial de 2549.32 km<sup>2</sup>;
- Tahuamanu, ubicado en la parte sur de la provincia, con una superficie de 3793.90 km<sup>2</sup>.

La provincia presenta tres tipos de climas principales: Perhúmedo (A) ubicado en el extremo oeste de la provincia, Húmedo (B) en el sector del extremo este y en el sector oeste de la provincia; mientras que el Subhúmedo lluvioso (C2) ocupa el sector central de la provincia.

La temperatura anual varía entre 25°C en Iñapari y 24.9°C en Iberia. La variación geográfica de las temperaturas anuales es reducida, con un valor central dominante de 25°C y una variación de 1°C arriba y abajo del mismo. Las temperaturas son elevadas durante todo el año. La oscilación estacional (diferencia entre el mes más cálido y el mes más frío) es de aproximadamente 4°C.

Presenta una estación lluviosa y otra seca durante el año. La precipitación media total anual es de 1,641 mm/año en Iberia y de 1,937 mm/año en Iñapari, mientras que se sume que en las cabeceras de las cuencas hidrográficas deben presentar mayores precipitaciones. El mes de febrero se presenta como el más lluvioso, mientras que el más seco es julio. La variación de la precipitación es bastante marcada en el año. Para Iberia se registra una oscilación pluvial de 24 mm a 226.1 mm; semejante variación ocurre en Iñapari de 36.8 mm a 277.3 mm. El periodo más lluvioso corresponde a los meses de noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo.

### **Criterios para la selección de áreas con aptitud**

Los criterios utilizados son aquellos considerados los más determinantes y críticos para el crecimiento y desarrollo de las especies castaña (*Bertholletia excelsa*), copoazú (*Theobroma grandiflorum*), piña (*Ananas comosus*) y plátanos (*Musa sp.*) especies más importantes para provincia de Tahuamanu, vistos como potenciales para la implementación de sistemas de producción diversificados.

Se seleccionaron los criterios que se consideraron relevantes para el buen desarrollo de la especie. Se ponderaron aspectos de clima (temperatura media, y precipitación), de balance hídrico (déficit y exceso hídrico), del suelo (profundidad efectiva, textura, pH, materia orgánica y drenaje) y de la fisiografía (altitud relativa y pendiente), con información bibliográfica y encuesta a expertos del IIAP.

### **Base de datos cartográfica y satelital**

Debido a la disponibilidad de información y relevancia para el estudio se trabajaron con los siguientes datos:

### **Material cartográfico:**

- Capa de información de Fisiografía de la provincia de Tahuamanu. Escala 1:100 000, del Plan de Ordenamiento Territorial de la provincia de Tahuamanu, Madre de Dios. Elaborado por el Instituto de Investigaciones de la Amazonía – IIAP.
- Capa de información de Clima y Balance Hídrico de la provincia de Tahuamanu. Escala 1:100 000, del Plan de Ordenamiento Territorial de la provincia de Tahuamanu, Madre de Dios. Elaborado por el Instituto de Investigaciones de la Amazonía – IIAP.
- Capa de información de Suelos de la provincia de Tahuamanu. Escala 1:100 000, del Plan de Ordenamiento Territorial de la provincia de Tahuamanu, Madre de Dios. Elaborado por el Instituto de Investigaciones de la Amazonía – IIAP.

### **Material satelital:**

- Escenas de imágenes de satélite Landsat 8 OLI (2015-2016): p002/r068, p003/r067, p003/r068, p004/r067, p004/r068.
- Formato de salida: GeoTIFF
- Tamaño de píxel: 30 metros (multiespectral)
- Mapa de proyección: UTM (polar estereográfica de la Antártida)
- Datum: WGS 84
- Remuestreo: convolución cúbica
- Exactitud: 12 metros de error circular, de confianza del 90 %.

### **Proceso analítico jerárquico (AHP)**

Para determinar la aptitud de la tierra para el establecimiento de las especies en estudio en estudio, se utilizó el método de evaluación multicriterio AHP, propuesto por Saaty (1980, 1994), utilizando herramientas SIG. El AHP utiliza una escala de valores de 1 al 9 (Cuadro 1) para asignar valores numéricos a los juicios hechos por las personas, considerados expertos en el manejo de especies tropicales. Se mide la

contribución de cada elemento de la jerarquía al nivel inmediato superior al comparar dos criterios a la vez; es decir, mediante el procedimiento de comparación pareada (Malczewski, 1999).

**Cuadro 1.** Escala para evaluación de criterios y subcriterios (Saaty, 1994).

ESCALA NUMERICA	ESCALA TEXTUAL
1	Ambos criterios son igual de importantes
3	El primer criterio es moderadamente importante que el segundo
5	El primer criterio es fuertemente importante que el segundo
7	El primer criterio está demostrado que es importante que el segundo
9	El primer criterio es extremadamente importante que el segundo

La jerarquización del problema en estudio se muestra en la Figura 1. Se observa el objetivo o meta a lograr (definición de niveles de aptitud de la tierra para el crecimiento de *Bertholletia excelsa*, *Theobroma grandiflorum*, *Ananas comosus* y *Musa sp.*), los criterios (clima, fisiografía, suelo y balance hídrico), subcriterios (precipitación, temperatura media, déficit hídrico, exceso hídrico, profundidad efectiva, textura, pH, altitud y pendiente), y las alternativas existentes (escala de 0 a 1). Se definieron cuatro categorías de aptitud: ALTO, MEDIO, BAJO Y NO APTO.

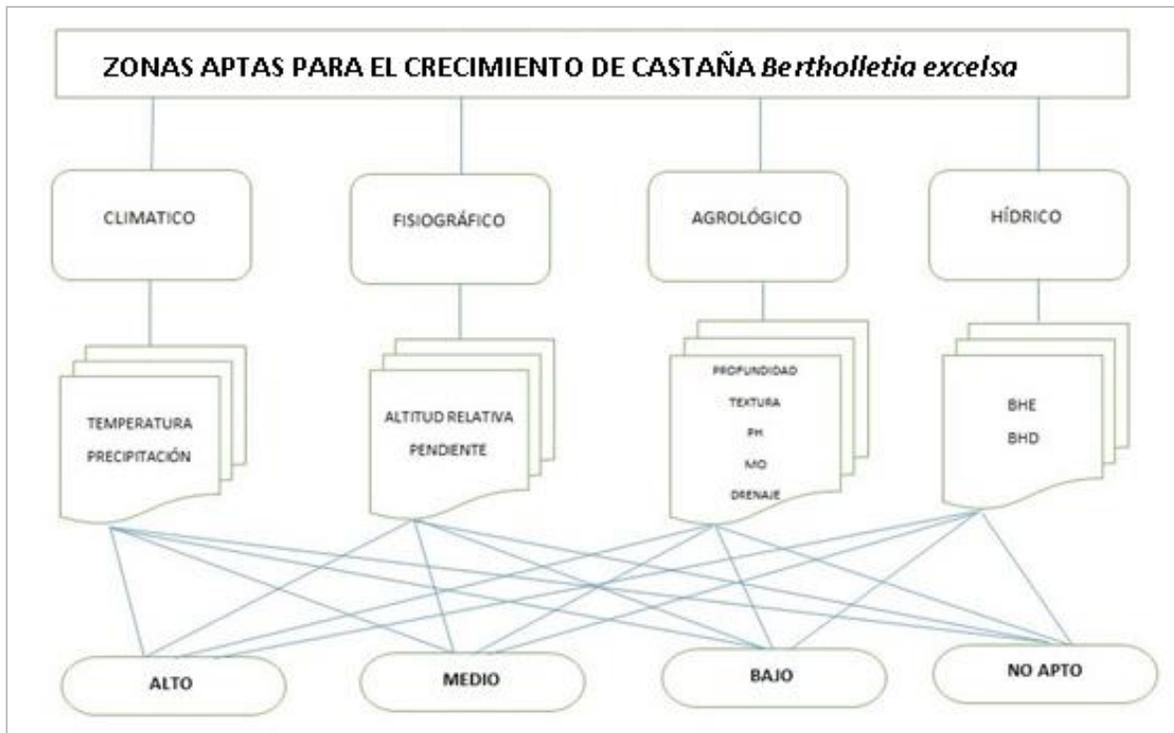


Figura 1. Ejemplo de estructura jerárquica de los criterios y subcriterios considerados en el estudio para las especies en estudio.

Debido a la diferencia de las escalas de medición asociadas a los criterios utilizados y a la necesidad de procesar la información en una escala común, fue necesario estandarizar los criterios (0 a 1). Este procedimiento se hizo mediante el método de comparación pareada.

En el cuadro 3 se muestra como ejemplo, la matriz de comparación pareada utilizada para estandarizar el subcriterio "PENDIENTE" para *Bertholletia excelsa*, en función a sus requerimientos agroecológicos; para su llenado se utilizó la escala establecida por Saaty . El resto de los subcriterios utilizados en la evaluación se procesaron de manera similar para todas las especies, y solo se presentan los valores definidos para cada nivel.

**Cuadro 2.** Ejemplo matriz de comparación pareada del subcriterio PENDIENTE.

<b>PENDIENTE</b>	ALTO	MEDIO	BAJO	NO APTO	PESO
ALTO	1	3	7	9	0.59
MEDIO	0.33	1	3	7	0.26
BAJO	0.14	0.33	1	3	0.10
NO APTO	0.11	0.14	0.33	1	0.05

Con base a la estandarización mediante comparación de pares de los criterios y subcriterios, se asignaron los valores correspondientes de acuerdo con los requerimientos ecológicos de la especie, en valores de 0 a 1.

Después de estandarizar los subcriterios, se estimaron los pesos (importancia) de cada uno de ellos en la definición de las áreas con aptitud para plantar la especie de interés.

Para ello fue necesario incorporar en el proceso información del experto quien hizo la calificación a través de la matriz de comparación pareada.

Existe el riesgo de que el peso asignado por el experto a cada criterio y subcriterio resulte inadecuado, como resultado de comparaciones pareadas erróneas o incongruentes.

Para eliminar tal riesgo, el método incluye el cálculo de un índice de consistencia (IC) que mide la estabilidad de las comparaciones y muestra la probabilidad de que los valores de importancia sean generados de manera aleatoria.

Un valor de IC menor de 0.10 se considera adecuado en las comparaciones (**Saaty, 1980; Malczewski, 1999**). Una vez obtenidos los resultados, se eliminaron los que mostraron una consistencia inadecuada ( $IC > 0.10$ ), y posteriormente se obtuvo el promedio de las ponderaciones consistentes.

Finalmente, se construyó un modelo cartográfico que permitió desarrollar el AHP. Este procedimiento se realizó con el software ArcGIS 10.1. En resumen, los mapas estandarizados (subcriterios) se multiplicaron por el peso (W) definido por el experto para obtener los mapas de subcriterios ponderados. Posteriormente, los mapas ponderados se sumaron, y dieron como resultado los mapas de criterios (clima, suelo, fisiografía y balance hídrico). En seguida, cada criterio se multiplicó por el peso definido por los expertos. Finalmente, los mapas que contienen los criterios se sumaron para obtener el mapa de aptitud final (Figura 2).

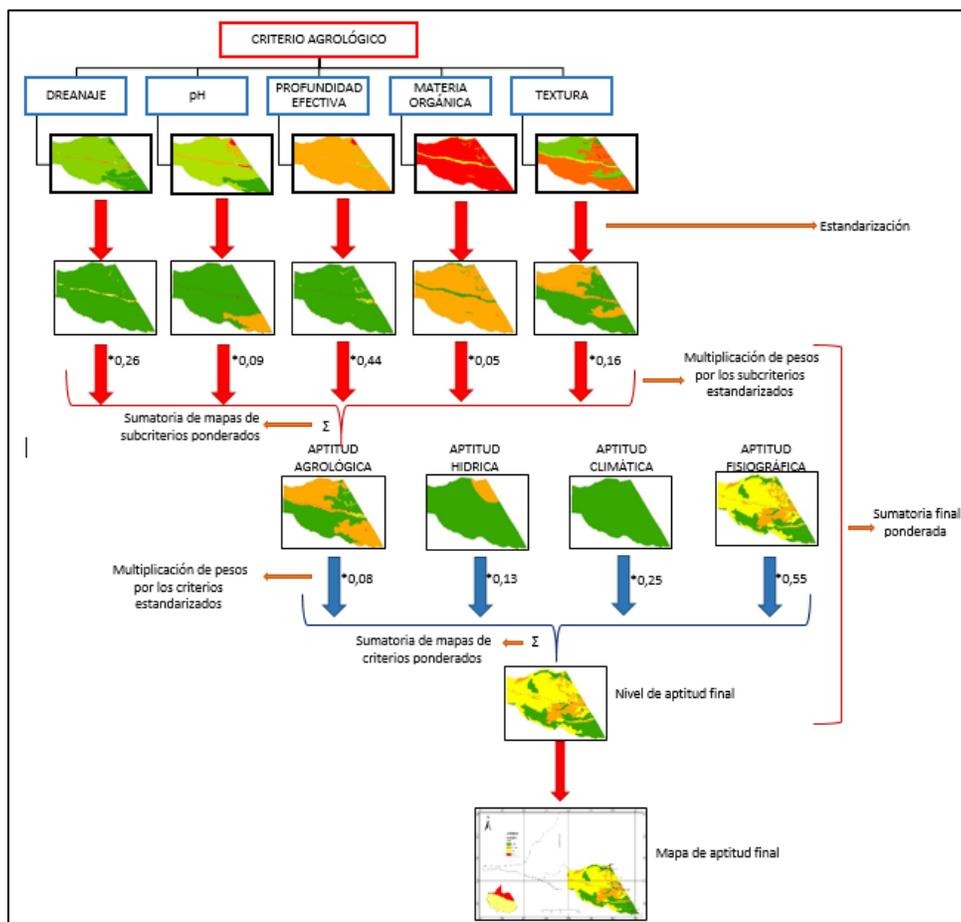


Figura 2. Ejemplo de modelo cartográfico establecido para localizar espacialmente las áreas con los niveles de aptitud.

## RESULTADOS

La aptitud de las tierras para cuatro especies se presenta en un área de evaluación de aproximadamente 1 050 460.59 hectáreas, que corresponde a la provincia de Tahuamanu, excluyendo las áreas del frente de conservación de áreas naturales protegidas y las del frente regional de conservación de pueblos indígenas en aislamiento voluntario.

### ***Castaña (Bertholletia excelsa)***

El mapa de aptitud generado para la zona de Tahuamanu, indica que hay 313 057.23 hectáreas (29.8% del área total) califican con aptitud ALTA; 170 363.44 hectáreas (16.2% del área total) son zonas de aptitud MEDIA; las zonas de aptitud BAJA abarca una superficie de 562 624.85 hectáreas (53.5% del total) y la superficie sin aptitud para Castaña es de 4 415.05 hectáreas, lo que representa el 0.42% de la superficie total (Figura 3).

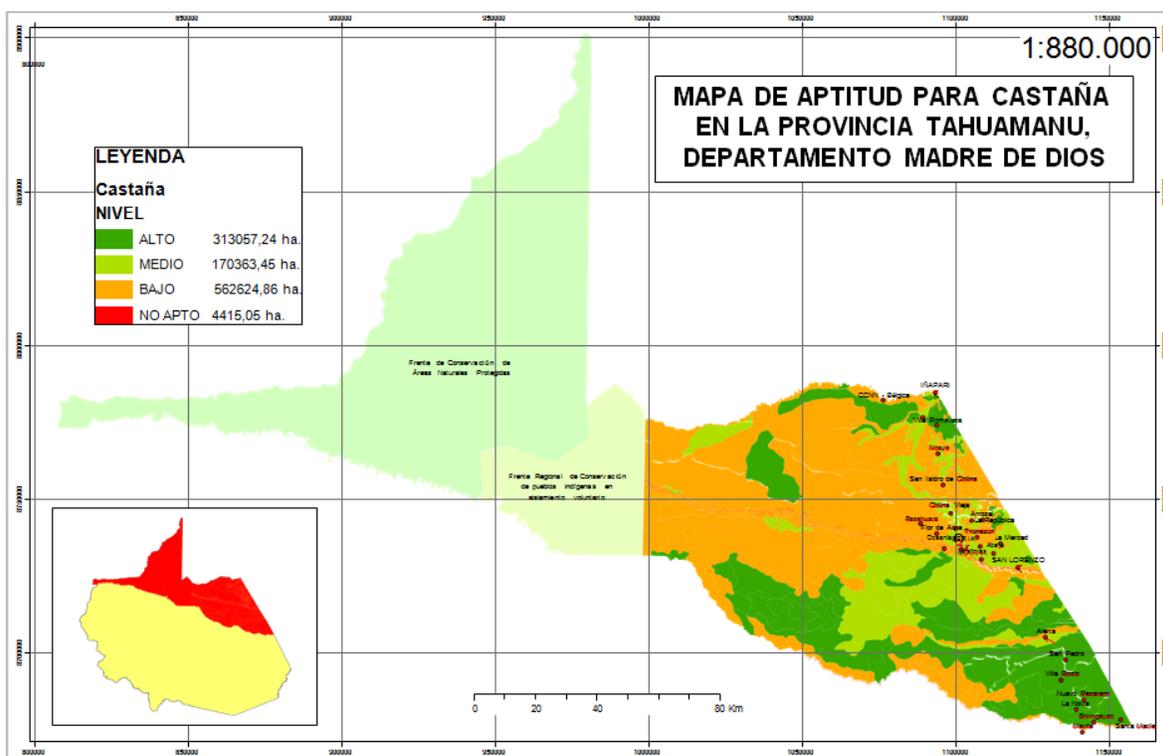
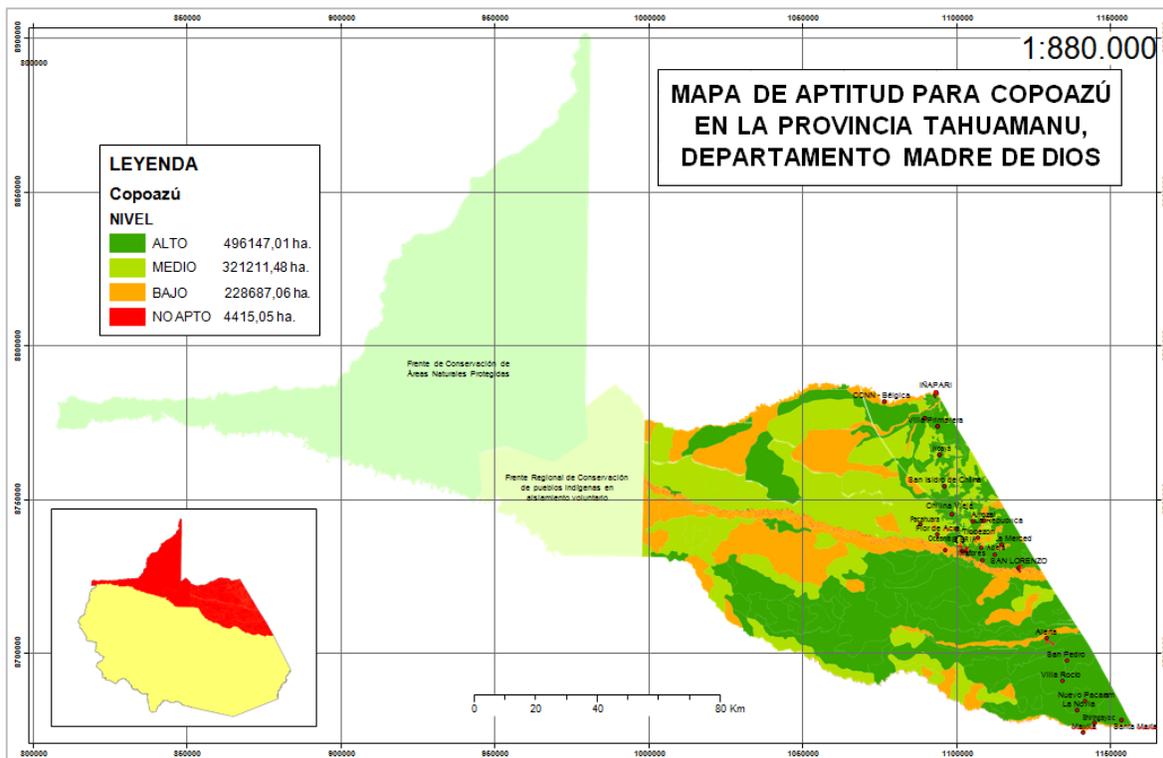


Figura 3. Mapa de aptitud para castaña en la provincia Tahuamanu, Madre de Dios

### **Copoazú (*Theobroma grandiflorum*)**

Según el mapa de aptitud para copoazú para Tahuamanu, existen aproximadamente 496 147.01 hectáreas que califican con aptitud ALTA, o sea el 47.23% de la provincia; con aptitud MEDIA existen 321 211.48 hectáreas (30.58% del área total); las zonas de aptitud BAJA abarcan 228687.06 hectáreas (21.77% del total) y la superficie sin aptitud para Copoazú es de 4 415.05 hectáreas, representa el 0.42% de la superficie total (Figura 4).



### **Piña (*Ananas comosus*)**

Según los resultados la zona de Tahuamanu, tiene 334 758.74 hectáreas (31.88 del área total) con aptitud ALTA para el desarrollo de la piña; las áreas con aptitud MEDIA ocupan 148 661.95 hectáreas (14% del área total); las áreas con aptitud BAJA abarcan 562624.86 hectáreas (53.60% del total) y el área SIN APTITUD para piña es de 4 415.05 hectáreas, representa el 0.42% de la superficie total (Figura 5).

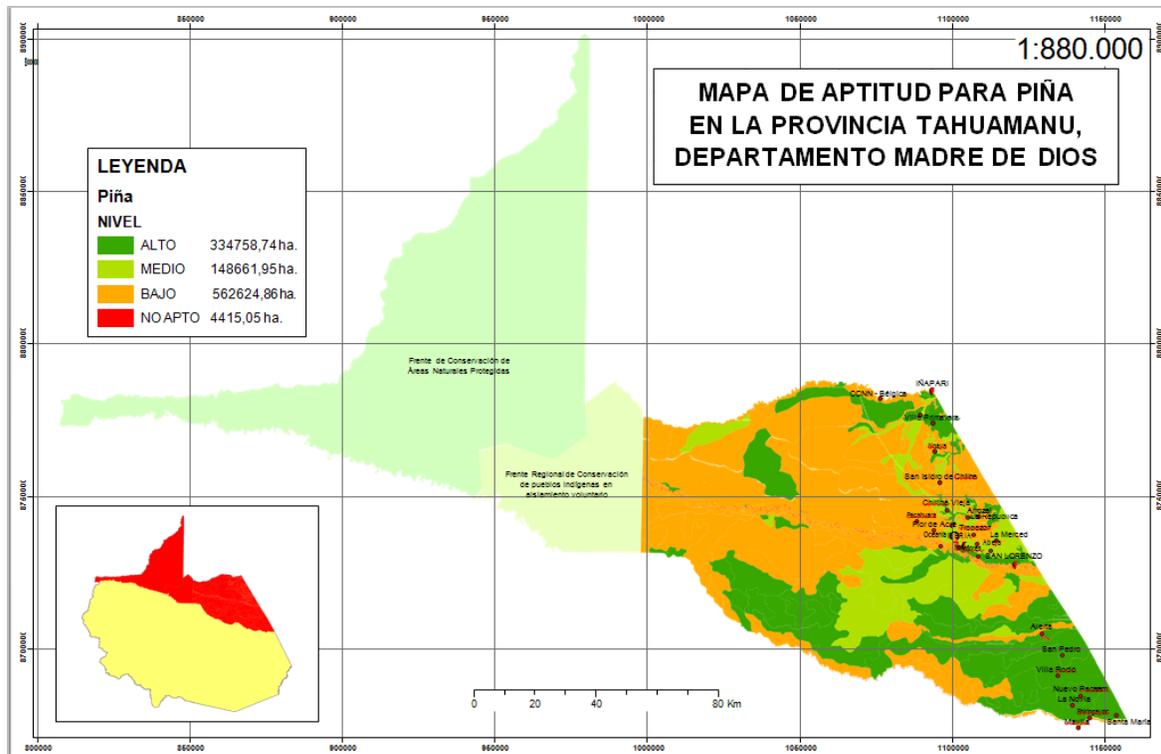


Figura 5. Mapa de aptitud para piña en la provincia Tahuamanu, Madre de Dios

### **Platano *Musa sp.***

La clasificación de aptitud de áreas para plátano en la zona de Tahuamanu, tiene 334 758.74 hectáreas (31.88 del área total) con aptitud ALTA para el desarrollo del plátano; las áreas con aptitud MEDIA ocupan solamente 9406.08 hectáreas (0.89% del área total); las áreas con aptitud BAJA abarcan 701 880.73 hectáreas (66.82% del total) y el área SIN APTITUD para plátano es de 4 415.05 hectáreas, representa el 0.42% de la superficie total (Figura 6).

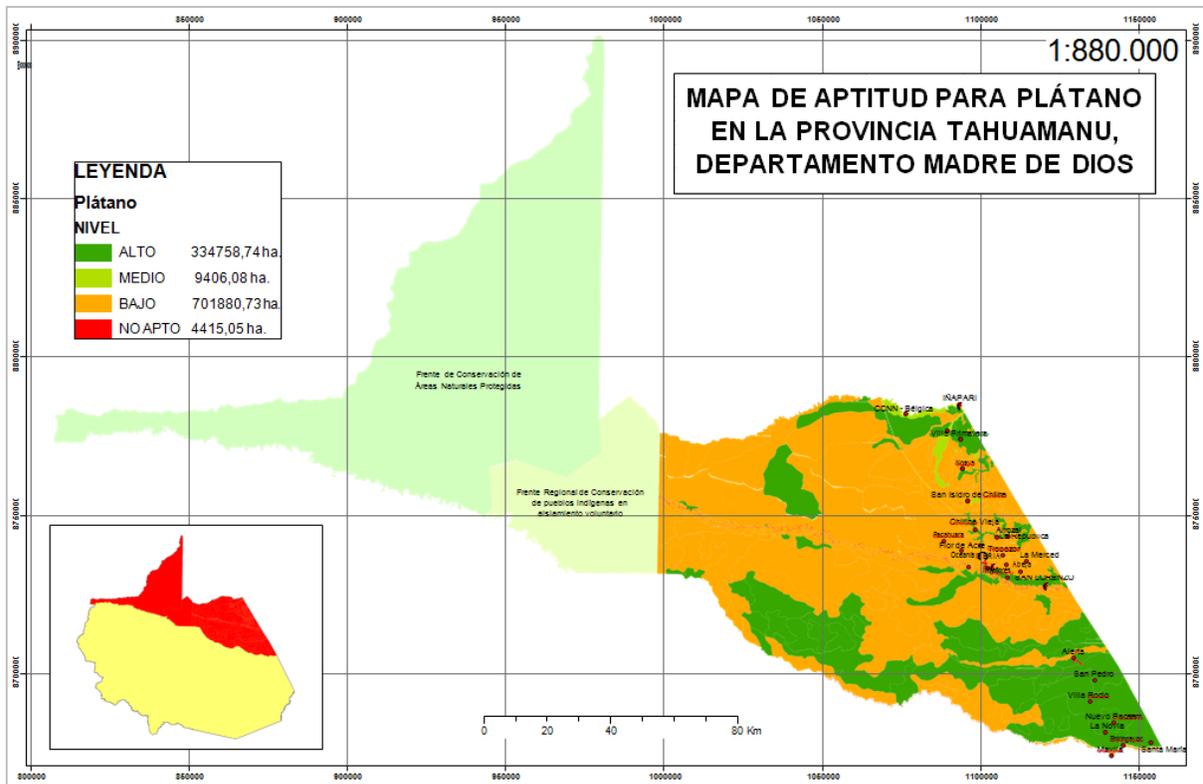


Figura 6. Mapa de aptitud para plátano en la provincia Tahuamanu, Madre de Dios

## Conclusiones

- Una fase crucial para la aplicación de Proceso Analítico Jerárquico (AHP) es la asignación de pesos. De acuerdo con la consulta y análisis de los expertos, se tuvo como resultado que el criterio más importante fue el fisiográfico, seguido por el climático, luego hídrico y finalmente agrológico para las especies en estudio.
- Los subcriterios altitud y pendiente se consideraron de importancia en el proceso de análisis, debido a que si el área no se con la aptitud alta con alguno de ellos, podría repercutir en el normal desarrollo de las especies en estudio.
- Las áreas con aptitud ALTA difieren entre las especies, sin embargo estas pueden ser cultivados bajo sistemas de producción diversificados, debido a que son especies de mediano a largo plazo y son permanente en el caso de castaña y copozú.

## Bibliografía

- **Aguilar N; Galindo G; Contreras C; Fortanelli J; (2010).** Evaluación multicriterio y aptitud agroclimática del cultivo de caña de azúcar en la región de Huasteca (México). Corpoica. Ciencia y Tecnología Agropecuaria, Julio-Diciembre, 144-154.
- **Arias E., y Rondón J., (2010).** Manejo Forestal de *Bertholletia excelsa* HBK (castaña o nuez de Brasil). Revista Forestal Latinoamericana, 25(1): 93 – 113, 2010.
- **Bhushan N. and Rai K. (2004).** The Analytic Hierarchy Process. In: Strategic Decision Making Applying the Analytic Hierarchy Process. 2004, IX, 172 p., Hardcover. ISBN 978-1-85233-756-8. <http://www.springer.com/978-1-85233-756-8>
- **Ceballos, A. y Lopez, J. (2010).** Delimitación de Áreas adecuadas para cultivos de alternativa: Una Evaluacion Multicriterio – SIG. Terra Latinoamericana, vol 28, núm. 2, abril – junio 2010, pp. 109 – 118. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A. C. Chapingo, México.
- **Cengiz, Tülay and Akbulak, Cengiz (2009).** Application of analytical hierarchy process and geographic information systems in land-use suitability evaluation: a case study of Dümrek village (Çanakkale, Turkey), International Journal of Sustainable Development & World Ecology, 16:4,286 – 294. DOI: 10.1080/13504500903106634.

- **CONIF, 1998.** Guía para Plantaciones Forestales Comerciales Antioquia. Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal. Santa Fe de Bogotá
- **Corvera R., Suri W., Arcos M. y Canal A. (2006).** Zonificación agroecológica para el desarrollo de sistemas agroforestales con castaña *Bertholletia excelsa* en la Región Madre de Dios, Perú. Sistemas de producción de castaña *Bertholletia excelsa* en Madre de Dios. Memoria Institucional. IIAP. <http://www.iiap.org.pe/Upload/Avance/bioexport12.pdf>
- **Corvera R., (2014).** Servicio para la integración de la Información del estado Actual de la diversidad Biológica y genética de la castaña (*Bertholletia excelsa*) en el Perú. Segundo Informe final.
- **Costa J., Castro A., Wandelli E., Coral S., Souza S. (2008).** Aspectos silviculturais da castanha do Brasil (*Bertholletia excelsa*) em sistemas agroflorestais na Amazônia Central. Acta Amazónica. Vol 39(4) 2009: 843 – 840.
- **Delgado C., Valdez J., Fierros A., De los Santos H. y Gomez A. (2008).** Aptitud de Áreas para plantaciones de Eucalipto en Oaxaca y Veracruz: Proceso de Análisis Jerarquizado vs. Álgebra booleana. Rev. Mex. Cien. For. Vol 1. Núm. 1. 123 – 133.
- **FAO. (2000).** El Proceso Analítico Jerárquico y su Aplicación para Determinar los Usos de la Tierra. Informe Técnico No. 2. Santiago, Chile. 65 p.
- **Diario de Economía y Negocios de Perú “Gestión” (2014).** INIA lanza nueva tecnología que permitirá competir con Brasil en el mercado de la Nuez del Brasil. Economía. Jueves, 03 de abril del 2014.

- **González. M. (2014).** Identificación de Áreas Prioritarias para Restauración Ecológica, en la Región Chignahuapan – Zacatlán, Puebla. México. Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas. Tesis para el Grado de Maestría.
- **GOEMAD (2010).** Estudio de Diagnóstico y Zonificación para el Tratamiento de la Demarcación territorial de la provincia Tahuamanu. Gerencia Regional de Planeamiento, Presupuesto y Acondicionamiento Territorial.
- **Martínez, S. y Prieto, J. (2011).** Determinación de Áreas Potenciales para el establecimiento de plantaciones forestales comerciales en la región norte de México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Progreso 5, Barrio Santa Catarina. Delegación Coyoacan. ISBN: 978-607-425-559-1. C. P. 04010, Mexico D. F.
- **MINAM (2014).** La Castaña amazónica, regalo de la biodiversidad. Sistematización de experiencias de investigación y manejo de castaña en ecosistemas de terrazas altas en el Departamento de Madre de Dios. Perú.
- **Mokarram M., Rangzan K., Moezzi A., Baninemeh J.** Land suitability evaluation for wheat cultivation by fuzzy Theory Approache as compared with parametric method. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. 38, Part II. Hong Kong, May 2010.
- **Olivas E., Valdez J. Arnulfo A., Gonzáles G., Vera G. (2006)** Áreas con aptitud para establecer plantaciones de maguey cenizo: definición mediante Análisis Multicriterio y Sig. Rev. Fitotec. Mex. Vol. 30 (4): 411 – 419, 2007.

- **Osorio Juan C. y Orejuela Juan P. 2008.** El Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) y la toma de decisiones multicriterio. Ejemplo de Aplicación. *Scientia et Technica* Año XIV, No 39, Septiembre de 2008, pp. 247-252. ISSN 0122-170. Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira, Colombia.
- **Ramirez J, Carrillo J, Ruiz M, Alonso M y Quemada M. (2015).** Multicriteria decision analysis applied to cover crop species and cultivars selection. *Field Crops Research* 175 (2015) 206 - 115. Science Direct.
- **Rocek J., Gilbert M., Broadbent E (2013).** Brazil Nut (*Bertholletia excels*, *Lecythidaceae*) Regeneration in Logging Gaps in the Peruvian Amazon. Hindawi Publishing Corporation *International Journal of Forestry Research*. Vol 2014. Article ID 420764, 8 pages. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/420764>
- **Saaty, T. L. 1994.** Highlights and critical points in the theory and application of the analytic hierarchy process. *Eur. J. Oper. Res.*, 74, 426–447.
- **Scoles R., R. Gribble y G. N. Klein 2011.** Crescimento e sobrevivência de castanheira (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) em diferentes condições ambientais na região do rio Trombetas, Oriximiná, Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais* 6(3): 273 – 293.
- **Scoles R, Canto MS, Almeida RG y Vieira DP (2015).** Sobrevivência e Frutificação de *Bertholletia excelsa* Bonpl. Em Áreas Desmatadas em Oriximiná, Pará. *Floresta e Ambiente*. Universidade Federal do Oeste do Pará – UFOPA. Centro de Formação Interdisciplinar. ISSN: 2179 - 8087.
- **Sotelo E, Cruz G, González A y Moreno F. (2016).** Determinación de la aptitud del terreno para maíz mediante análisis espacial multicriterio en el

Estado de México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. Vol. 7. Núm. 2, 15 de Febrero – 31 – Marzo. 2016 p. 401 – 412.

- **Sudabe Jafari S. and Zaredar N.** Land Suitability Analysis using Multi Attribute Decision Making Approach. International Journal of Environmental Science and Development, Vol.1, No.5, December 2010. ISSN: 2010-0264.
- **Tenerelli P, Carver S, 2012.** Multi-criteria, multi-objective and uncertainty analysis for agro-energy spatial modelling. Appl. Geogr. 32: 724-36.