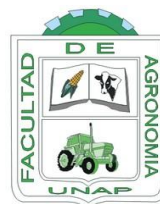




**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA
AMAZONÍA PERUANA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**



ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL

**“PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO (AHP) PARA LA
IDENTIFICACIÓN DE ZONAS APTAS PARA LA SIEMBRA DE
CASTAÑA (*Bertholletia excelsa* HBK) CON FINES DE
CONSERVACIÓN Y APROVECHAMIENTO EN LA PROVINCIA DE
TAHUAMANU, DEPARTAMENTO DE MADRE DE DIOS. 2016”**

TESIS

Para Optar el Título Profesional de

INGENIERO EN GESTIÓN AMBIENTAL

Presentado por

ETSSY YOVANKA AYRAM RODRÍGUEZ NAJAR

Bachiller en Gestión Ambiental

IQUITOS - PERÚ

2017



UNAP

**FACULTAD DE AGRONOMIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
EN GESTIÓN AMBIENTAL**



ACTA DE SUSTENTACIÓN N° 011-EFPIGA-FA-UNAP-2017

En Iquitos, a los 28 días del mes de ABRIL del 2017, a horas 7:00 p.m. el Jurado designado por la Escuela de Formación Profesional de Ingeniería en Gestión Ambiental, intergrado por los Señores Miembros que a continuación se indica:

- | | |
|--|-------------------|
| Ing. JORGE AQUILES VARGAS FASABI, M.Sc. | PRESIDENTE |
| Ing. JULIO PINEDO JIMENEZ | MIEMBRO |
| Ing. MIGUEL ARISTRIDES PÉREZ MARÍN, M.Sc. | MIEMBRO |

Se constituyeron en el Auditorio de la Facultad de Agronomía, para escuchar la sustentación de la Tesis titulada: "PROCESO ANALÍTICO JERARQUICO (AHP) PARA LA IDENTIFICACIÓN DE ZONAS APTAS PARA LA SIEMBRA DE CASTAÑA (*Bertholletia excelsa* HBK) CON FINES DE CONSERVACIÓN Y APROVECHAMIENTO EN LA PROVINCIA DE TAHUAMANU, DEPARTAMENTO DE MADRE DE DIOS. 2016", presentada por la Bachiller en Gestión Ambiental ETSSY YOVANKA AYRAM RODRIGUEZ NAJAR, para optar el Título Profesional de INGENIERO EN GESTION AMBIENTAL que otorga la Universidad de acuerdo a Ley y Estatuto.

Después de haber escuchado con atención y formulado las preguntas necesarias, las cuales fueron respondidas: A SATISFACCIÓN

El Jurado después de las deliberaciones correspondientes en privado, llegó a las siguientes conclusiones:

La Tesis ha sido APROBADA POR UNANIMIDAD
Siendo las 9:00 p.m. se dio por terminado el acto FELICITANDO
a la sustentante por su trabajo.


Ing. Ing. JORGE AQUILES VARGAS FASABI, M.Sc.
Presidente


Ing. JULIO APINEDO JIMENEZ
Miembro


Ing. MIGUEL ARISTRIDES PÉREZ MARÍN, M.Sc.
Miembro

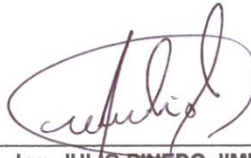
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA AMAZONIA PERUANA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL

Tesis aprobada en sustentación pública el día 28 de Abril del 2017 por el jurado Ad-Hoc nombrado por la Dirección de la Escuela de Formación Profesional de Ingeniería en Gestión Ambiental, para optar el título de:

INGENIERO EN GESTIÓN AMBIENTAL



Ing. JORGE AQUILES VARGAS FASABI, M.Sc.
Presidente



Ing. JULIO PINEDO JIMENEZ.
Miembro



Ing. MIGUEL ARÍSTIDES PÉREZ MARÍN, M.Sc.
Miembro



Ing. JORGE ENRIQUE BARDALES MANRIQUE, Dr.
Asesor



Ing. DARVIN NAVARRO TORRES, Dr.
Decano



DEDICATORIA

*A mis padres, **Juan Rodríguez Mestanza** y **María Teresa Najar García**, por la vida, por la mejor herencia que me pueden haber dado: mis estudios, por su incondicional apoyo, alentándome siempre y en cada momento para salir adelante sin desánimo, por su amor y por hacer de mí una mejor persona.*

*A mis hermanas **Coyceth** y **Clarisse**, por haberme dado su apoyo incondicional, porque después de mis padres, fueron los que me enseñaron cosas vitales de la vida y me encaminaron por el buen sendero.*

A todos mis seres queridos y a las personas que creen en mí, en mis habilidades y destrezas, quienes me brindaron su apoyo en las buenas y malas.

AGRADECIMIENTO

Primeramente, agradecer a mis **Padres: Juan Rodríguez Mestanza y María Teresa Najar García**, por su apoyo y su amor incondicional, porque son la pieza fundamental en mi vida y son ellos por quienes me esforzaré en ser mejor cada día, y gracias a sus consejos y enseñanzas las cuales me hicieron una mejor hija.

Gracias a mis hermanas **Coyceth Rodríguez y Clarisse Rodríguez**, por sus consejos, por apoyarme y quererme, por ser ejemplo de perseverancia y superación.

Quiero agradecer a la **Universidad Nacional de la Amazonía Peruana** y a cada uno de sus docentes por brindarme los conocimientos necesarios para poder desarrollarme como profesional en este largo camino.

Agradezco al **Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana**, al proyecto **“Castaña” de PROFONANPE** y a **Perú - Euro Eco Trade** por permitirme desarrollar destrezas y habilidades complementando mis conocimientos aprendidos, para ser un profesional competente y capaz.

Quiero agradecer al **Ing. Giuseppe Torres Reyna** y al **Dr. Jorge Bardales Manrique** por sus enseñanzas, apoyo, paciencia, y por brindarme sus conocimientos para el adecuado desarrollo de este Proyecto de Tesis.

INDICE GENERAL

	Pág.
INDICE GENERAL	05
INDICE DE CUADROS	06
INDICE DE FIGURAS	08
INDICE DE ANEXOS	09
INTRODUCCIÓN	10
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12
1.1 PROBLEMA, HIPÓTESIS Y VARIABLES	12
1.1.1 El problema	12
1.1.2 Hipótesis general.....	14
1.1.3 Identificación de las variables	14
1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	14
1.2.1 Objetivo general	14
1.2.2 Objetivos específicos	14
1.3 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA	15
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	16
2.1 MATERIALES.....	16
2.1.1 Área de estudio	16
2.1.2 Ubicación.....	16
2.1.3 Características ecológicas para el crecimiento de la especie: Castaña (<i>Bertholletia excelsa</i> HBK)	18
2.1.4 Base de datos cartográfica y satelital.....	19
2.2 MÉTODOS	20
2.2.1 Selección de criterios y subcriterios para la identificación de zonas aptas para el crecimiento de la especie	22
2.2.2 Estandarización de subcriterios	23
2.2.3 Ponderación de los criterios y subcriterios	27
2.2.4 <u>Superposición</u>	29
2.2.5 Modelamiento cartográfico	30

CAPÍTULO III: REVISIÓN DE LITERATURA	31
3.1 MARCO TEÓRICO.....	31
3.2 MARCO CONCEPTUAL.....	39
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS	42
4.1 PESOS PONDERADOS DE CRITERIOS Y SUBCRITERIOS.....	42
4.2 MODELAMIENTO ESPACIAL.....	43
4.3 MAPA DE APTITUD.....	60
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	64
5.1 CONCLUSIONES.....	64
5.2 RECOMENDACIONES.....	65
BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA	66
ANEXOS	70

INDICE DE CUADROS

CUADRO N°	Pág.
1. Criterios y subcriterios utilizados para la identificación de zonas de aptitud para el crecimiento y desarrollo de la Castaña (<i>Bertholletia excelsa</i> HBK).....	23
2. Clasificación de los valores para estandarizar el criterio Fisiográfico.....	24
3. Clasificación de los valores para estandarizar el criterio Climático.....	24
4. Clasificación de los valores para estandarizar el criterio Hídrico.....	24
5. Clasificación de los valores para estandarizar el criterio Agrológico.....	25
6. Matriz de comparación pareada del subcriterio Pendiente.....	26
7. Valores para estandarizar el subcriterio Pendiente.....	27
9. Matriz de comparación pareada y pesos obtenidos a nivel Criterios.....	27
9. Matriz de comparación pareada y pesos obtenidos del subcriterio Agrológico.....	27
10. Cálculo del índice de consistencia a nivel de Criterios.....	29
11. Cálculo del índice de consistencia del criterio Agrológico.....	29
12. Resumen de los resultados de las matrices de comparación pareadas asignados a Cada criterio y subcriterio de evaluación.....	42
13. Clasificación (valores) para obtener el mapa de aptitud para el crecimiento de Castaña (<i>Bertholletia excelsa</i>).....	61
14. Superficie ocupada por nivel de aptitud para el crecimiento de Castaña (<i>Bertholletia Excelsa</i> HBK).....	61

INDICE DE FIGURAS

FIGURA N°	Pág.
1. Ubicación de la provincia de Tahuamanu, límites, capitales de distritos y centros poblados. Fuente: Tesista	17
2. Estructura jerárquica de los criterios y subcriterios considerados en el estudio. Fuente: Tesista.....	22
3. Esquema metodológico que muestra la secuencia de evaluación y utilización del método de evaluación multicriterio conocido como AHP. Fuente: Tesista.....	30
4. Descomposición de un problema de jerarquías (Malczewski, 1999).....	38
5. Obtención del mapa parcial con valores estandarizados del sub criterio Altura. Fuente: Tesista.....	44
6. Obtención del mapa parcial con valores estandarizados del sub criterio Pendiente. Fuente: Tesista.....	45
7. Mapa parcial del criterio Fisiográfico. Fuente: Tesista	46
8. Obtención del mapa parcial con valores estandarizados del sub criterio Temperatura media. Fuente: Tesista	47
9. Obtención del mapa parcial con valores estandarizados del sub criterio Precipitación pluvial. Fuente: Tesista.....	48
10. Mapa parcial del criterio Climático. Fuente: Tesista	49
11. Obtención del mapa parcial con valores estandarizados del sub criterio Déficit hídrico. Fuente: Tesista.....	50
12. Obtención del mapa parcial con valores estandarizados del sub criterio Exceso hídrico Fuente Tesista.....	51
13. Mapa parcial del criterio Hídrico. Fuente: Tesista	52
14. Obtención del mapa parcial con valores estandarizados del sub criterio Drenaje. Fuente: Tesista.....	54
15. Obtención del mapa parcial con valores estandarizados del sub criterio Materia Orgánica. Fuente: Tesista	55
16. Obtención del mapa parcial con valores estandarizados del sub criterio PH. Fuente: Tesista.....	56
17. Obtención del mapa parcial con valores estandarizados del sub criterio Profundidad efectiva. Fuente: Tesista	57

18. Obtención del mapa parcial con valores estandarizados del sub criterio Textura. Fuente: Tesista.....	58
19. Mapa parcial del criterio Agrológico. Fuente: Tesista.....	59
20. Unión de los mapas de criterios para la obtención del mapa final. Fuente: Tesista	60
21. Porcentaje de área que ocupan las zonas de aptitud de Castaña en la provincia de Tahuamanu	62
22. Mapa de zonas de aptitud para el crecimiento de Castaña en la provincia de Tahuamanu, Madre de Dios. Fuente: Tesista	63

INDICE DE ANEXOS

ANEXO N°	Pág.
01. Capas de información temática cartográfica de Fisiografía.....	71
02. Capas de información temática cartográfica de Clima	72
03. Capas de información temática cartográfica de Balance Hídrico	73
04. Capas de información temática cartográfica de Suelos	74
05. Matriz de comparación pareada, estandarización y ponderación de subcriterios. Fuente Tesista.....	77
06. Ponderación de criterios y subcriterios. Fuente: Tesista	80

INTRODUCCIÓN

Los recursos de la biodiversidad de nuestro territorio, tienen un gran potencial para contribuir con el desarrollo nacional, siempre y cuando se usen sosteniblemente y se impulse su transformación y valor agregado, con una visión de inclusión y equidad.

La castaña constituye uno de esos recursos, pues su recolección de sus frutos, juega un papel importante en la vida económica en los habitantes de la región Madre de Dios, ya que es en esta región es en donde se desarrolla esta actividad de aprovechamiento con más significancia.

Los bosques naturales de castaña en el área de estudio, correspondientes a la provincia de Tahuamanu, Madre de Dios, no vienen siendo aprovechadas de manera adecuada, además que esas áreas vienen siendo ocupadas por otras actividades antrópicas como la agricultura extensiva, minería y ganadería sin lograr el éxito esperado y como consecuencia se está perdiendo grandes extensiones del suelo y la vegetación que ahí subsistía. Derivado de lo anterior, es de vital importancia identificar las zonas con aptitud para el crecimiento de Castaña, para su aprovechamiento y conservación en dicha región.

Los métodos de Evaluación Multicriterio (EMC) son herramientas que recientemente han destacado por su utilidad en el mapeo y análisis de aptitud de la tierra. Siendo estos métodos, capaces de integrar distintos tipos de variables, con diferentes niveles de precisión espacial y de atender los compromisos implicados en la decisión explícita.

En el presente trabajo, se tuvo como objetivo, identificar zonas con aptitud para el crecimiento de castaña, para ello se empleó, el programa de análisis espacial ArcGIS 10.1, utilizando herramientas SIG combinado con técnicas de Evaluación Multicriterio (EMC), en este caso utilizando el método AHP (Proceso Analítico Jerárquico), lo que permitió clasificarla en niveles de aptitud. Se espera que el

presente trabajo sea una contribución al conocimiento que impulse el verdadero valor de los ecosistemas castañeros como motor de una economía sostenible.

CAPÍTULO I:

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 PROBLEMA, HIPÓTESIS Y VARIABLES

1.1.1 El problema

La castaña o nuez de Brasil (*Bertholletia excelsa* HBK) es una especie de importancia económica en nuestro país ya que es uno de los productos que contribuye a aumentar el PBI local y generan puestos de trabajo en todo el proceso de extracción y comercialización, tanto a nivel urbano como rural (**ARIAS Y RONDÓN 2010**). Madre de Dios es el único departamento del Perú donde se encuentran árboles de castaña en densidad suficiente que permite el aprovechamiento económico de su nuez. Se estima que los bosques naturales con castaña ocupan aproximadamente un área de 2.5 millones de ha, que representa el 30% de la superficie del departamento (**CORVERA, 2014**) y gran parte de dicho porcentaje recae en la provincia de Tahuamanu.

Sin embargo, las poblaciones naturales de este importante recurso viene enfrentando amenazas debido a la creciente migración interna proveniente de las regiones alto andinas colindantes que da lugar a un proceso de asentamiento y demanda de tierras, ejerciendo una presión creciente sobre los bosques primarios. Las áreas donde existe el recurso castaña vienen siendo deforestadas, para establecer principalmente actividades agrícolas insostenibles, que son rápidamente abandonadas al cabo de unas pocas campañas de producción. Sumado a la quema indiscriminada de áreas boscosas, ocasionada por los incendios forestales que causan una pérdida de la biodiversidad irrecuperable y las acciones de la naturaleza principalmente los vientos que provocan la caída o muerte natural de los árboles, son amenazas crecientes para este recurso (**CORVERA, 2014**).

En los últimos años, la castaña, ha sido señalada como una especie importante para las estrategias de conservación y desarrollo de los bosques lluviosos de la Amazonía, así como el mantenimiento de la diversidad biológica en sus ecosistemas debido a que implica una mínima perturbación del ecosistema (**CORVERA, 2014**). Además de ser una especie indicadora de disturbios pasados por su alta capacidad de sobrevivencia en ambientes perturbados (**SCOLES, GRIBEL Y KLEIN, 2011**).

Entonces, de acuerdo a su importancia económica, social y ambiental, y a su capacidad de sobrevivencia en ambientes perturbados, una de las estrategias necesarias para promover la conservación y aprovechamiento de esta especie, es identificar zonas de aptitud para su crecimiento.

Generalmente, la mayoría de los estudios de aptitud se realizan mediante técnicas cartográficas simples en un entorno de SIG, estos permiten integrar de manera expedita y eficaz variables biofísicas y climáticas de un área determinada. Adicionalmente, es posible incorporar a los procedimientos de SIG información no espacial, por ejemplo la opinión de expertos en la materia, información que puede ser tan importante como los datos e información espacial del ambiente. Sin embargo, esta técnica de análisis multicriterio tiene la desventaja de no identificar los diferentes niveles de aptitud espacial en el área de interés, situación que no es deseable cuando se requiere planificar programas o actividades con recursos limitados (**OLIVAS et al. 2007**).

Una alternativa metodológica para este tipo de estudios, que incorpora factores de ponderación para cada criterio considerado, es el Proceso de Análisis Jerarquizado (AHP), el cual tiene como propósito investigar un número de alternativas mediante criterios múltiples con finalidad de auxiliar a los tomadores de decisiones a describir, evaluar, ordenar, jerarquizar, seleccionar o rechazar alternativas de uso (**MALCZEWSKI, 1999** en **DELGADO et al. 2010**), o como en este caso, para identificar los diferentes grados de aptitud de un área para un fin específico. Por tanto, conviene preguntarnos: ¿De qué manera el método del proceso analítico jerarquizado AHP

permite la identificación de zonas aptas para el aprovechamiento y la conservación de la Castaña (**Bertholletia excelsa HBK**)?.

1.1.2 Hipótesis general

El método del proceso analítico jerárquico AHP permite la identificación de zonas aptas para la conservación y aprovechamiento de Castaña (**Bertholletia excelsa HBK**).

1.1.3 Identificación de las variables

- **Variable independiente (X):**

X. Zonas aptas para la conservación de la Castaña (*Bertholletia excelsa*) en Tahuamanu, Madre de Dios.

- **Variable dependiente (Y):**

Y1. Requerimientos ecológicos para el crecimiento de la castaña (*Bertholletia excelsa*)

Y.2. Características edafoclimáticas de la provincia de Tahuamanu, Madre de Dios.

1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1 Objetivo general

Aplicar el método del proceso analítico jerárquico (AHP) para la identificación de zonas aptas para el crecimiento de Castaña (*Bertholletia excelsa HBK*), confines de conservación y aprovechamiento.

1.2.2 Objetivos específicos

- Identificar y ponderar las variables que restringirían la distribución potencial de la conservación de Castaña (*Bertholletia excelsa HBK*).

- Desarrollar un modelo espacial para determinar las zonas potenciales para la conservación de Castaña (*Bertholletia excelsa HBK*).
- Identificar zonas aptas para la conservación de Castaña (*Bertholletia excelsa HBK*).

1.3 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

El presente trabajo tiene como finalidad tomar acciones inmediatas para el manejo sostenible de nuestros bosques en este caso la castaña (*Bertholletia excelsa HBK*), impulsando la repoblación de la especie mediante la identificación de terrenos de mayor aptitud para el desarrollo de plantaciones en los terrenos, y maximizar así su supervivencia, aprovechamiento y productividad, de esa manera busca ser una estrategia necesaria para dirigir la contratación de terrenos (concesiones forestales) y maximizar sus probabilidades de éxito, con lo que se incrementa la expectativa de los beneficios económicos puesto a que esta actividad es fuente de empleo directo e indirecto de muchas familias de la provincia de Tahuamanu.

CAPÍTULO II:

METODOLOGÍA

2.1 MATERIALES

2.1.1 Área de estudio

(Según el Estudio de Diagnóstico y Zonificación para el Tratamiento de la Demarcación territorial de la provincia Tahuamanu, GOREMAD 2010).

2.1.2 Ubicación

El presente estudio se realizó en la provincia de Tahuamanu, una de las tres provincias que conforman el departamento de Madre de Dios y está ubicada en el extremo Nororiental del departamento, limita al Noroeste con el departamento de Ucayali y al Norte y Este con las Repúblicas de Brasil y Bolivia, respectivamente. Incluye la totalidad de la cuenca del río Tahuamanu y Muymanu y parte de las cuencas del río Chandless y del río Purús, cuyas aguas desembocan en territorio brasileño. Esta provincia está conformada por tres distritos: Iñapari, Iberia y Tahuamanu.

Geográficamente, el territorio de la provincia Tahuamanu, se encuentra enmarcado entre los 09° 52'40" de latitud Sur y 72°10'44" longitud Oeste y cuenta con una extensión territorial estimada de 2'031458 has, que representa el 24.8% de la superficie departamental.

Tahuamanu, se ubica naturalmente en la región selva, específicamente en el sector Sur Oriental de dicha región, su altitud fluctúa desde los 200 msnm y va hasta los 600 msnm.

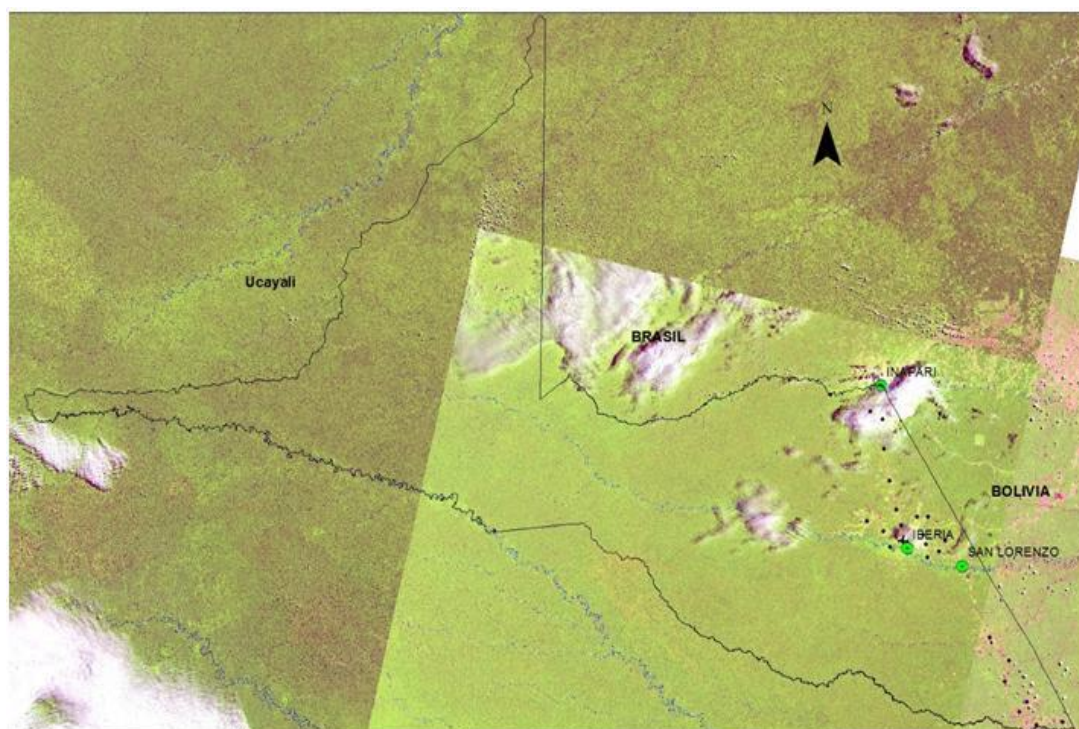


Figura 1. Ubicación de la provincia de Tahuamanu, límites, capitales de distritos y centros poblados. Fuente: Tesista

Clima

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.

Fisiografía y suelos

Predomina en su territorio, el gran paisaje de llanura aluvial, conformada por sedimentos recientes, subrecientes y antiguos transportados por los principales ríos, se caracterizan por presentar una topografía relativamente plana a ligeramente inclinada (0 a 4 %). Conformado por dos paisajes: (1) Llanura aluvial reciente del cuaternario y (2) llanura aluvial antigua del cuaternario. Hacia la parte occidental del territorio se distingue el gran paisaje colinoso, el cual se caracteriza por presentar superficies de forma ondulada a moderadamente disectadas, originadas por efectos de compresión (plegamiento), o por la acción de los procesos erosivos a que han sido sometidas las terrazas antiguas. En esta unidad se identifican dos paisajes: (1) Colinoso del cuaternario y (2) colinoso del terciario.

2.1.3 Características ecológicas para el crecimiento de la especie: Castaña (*Bertholletia excelsa* HBK) (Según “La Castaña amazónica”, MINAM 2014)

Clima

La castaña amazónica se desarrolla bien en regiones de clima cálido y húmedo. Las mayores concentraciones de la especie ocurren en regiones donde predominan los climas tropicales lluviosos, pero con una ocurrencia de estiaje definido. La temperatura media anual varía de 24,3 a 27,2°C con valores promedio máximos de 30,2 y 32,6°C y mínimos de 19,9 y 23,5°C.

La precipitación total anual varía entre 1 400 y 2 800 mm, con ocurrencia en determinadas áreas de periodos hasta seis meses con precipitaciones mensuales inferiores a 60 mm. La humedad relativa anual media se sitúa en el rango de 79% a 86% con variaciones mensuales de 66 a

91%. Los cálculos de balance hídrico anual sugieren que en estos climas es posible registrar déficit de agua en el suelo que pueden variar de 15 a 230 mm. En estas áreas el total anual de horas de brillo solar varía entre 2 000 y 2 500 horas.

Fisiografía

El área natural de desarrollo de la castaña amazónica corresponde a suelos originados por sedimentos aluviales antiguos, los cuales reciben la denominación de terraza alta, que va de los 30 a 50 metros sobre el nivel del río o terraza media no inundable que va de los 20 a 30 metros sobre el nivel del río.

Suelos

El mejor desarrollo de la especie se consigue en suelos de tierra firme, no soporta los suelos con anegamiento o con características físicas que faciliten la retención de agua. La mayoría de los árboles se desarrollan en suelos de textura franco arenosa, permeables, topografía ligeramente plana y color que varía desde amarillo y rojo. Estas poblaciones nativas de castaña amazónica presentan rangos de pH entre 4.5 y 6.0.

2.1.4 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 (Anexo 1).

- 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 (Anexo 2 y 3).
- 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 (Anexo 4).

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 %.

2.2 MÉTODOS

Para determinar la aptitud de la tierra para el establecimiento de plantaciones de la especie en estudio, y bajo un entorno de un SIG, se utilizó el método de evaluación multicriterio PAJ, propuesto por Saaty (1980, 1994). El PAJ utiliza una escala de valores de 1 al 9 para asignar valores numéricos a los juicios hechos por las personas (considerados expertos en el problema de estudio). 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).

La jerarquización del problema en estudio se muestra en la Figura 2. Se observa el objetivo o meta a lograr (definición de niveles de aptitud de la tierra para el crecimiento de *Bertholletia excelsa* HBK), 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, No apto.

Debido a la heterogeneidad 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. Este procedimiento se hizo mediante el método de comparación pareada.

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 de expertos. Existe el riesgo de que el peso asignado por los expertos 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 solidez 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, que fueron cuatro en total.

Finalmente, se construyó un modelo cartográfico que permitió desarrollar el AHP. En resumen, los mapas estandarizados (subcriterios) se multiplicaron por el peso (W) definido por los expertos 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 tres mapas que contienen los criterios se sumaron para obtener el mapa de aptitud preliminar.

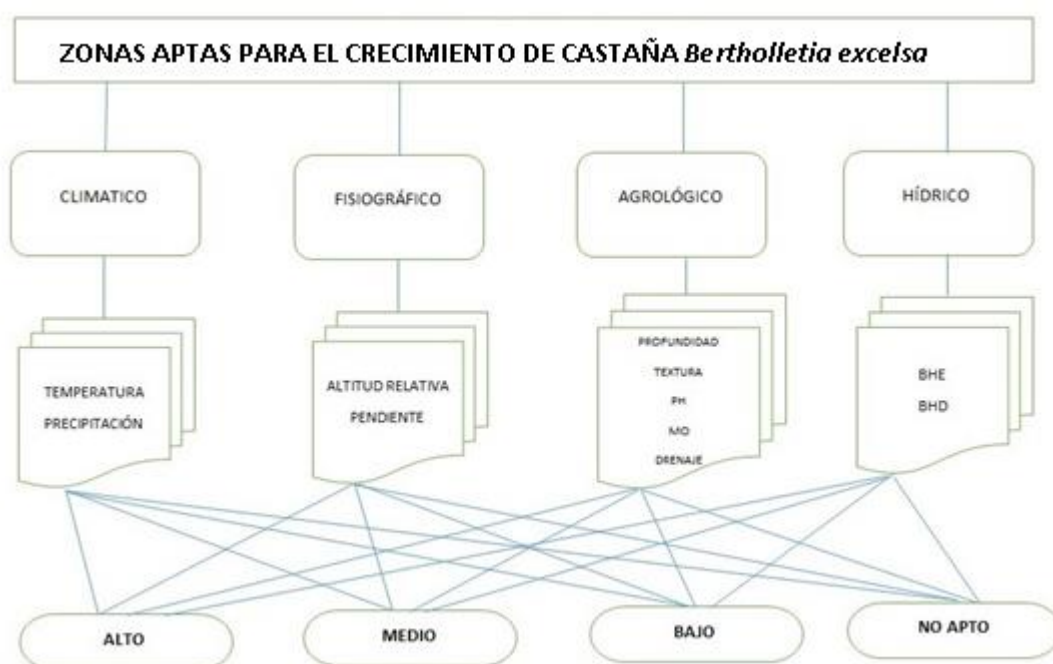


Figura 2. Estructura jerárquica de los criterios y subcriterios considerados en el estudio.
Fuente: Tesista

2.2.1 Selección de criterios y subcriterios para la identificación de zonas aptas para el crecimiento de la especie.

Se seleccionaron los criterios que se consideraron relevante para el buen desarrollo de la especie utilizando la revisión bibliográfica de investigaciones, consultas a investigadores, especialistas y la disponibilidad de datos.

Cuadro 1. Criterios y subcriterios utilizados para la identificación de zonas de aptitud para el crecimiento y desarrollo de la Castaña (*Bertholletia excelsa HBK*).

CRITERIO	SUBCRITERIO
Climático	Temperatura media
	Precipitación
Hídrico	Déficit hídrico
	Exceso hídrico
Agrológico	Textura
	Profundidad efectiva
	pH
	Drenaje
	Materia Orgánica
Fisiográfico	Pendiente
	Altitud

Fuente: Tesista.

2.2.2 Estandarización de subcriterios

Debido a la heterogeneidad 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. Se estableció la prioridad relativa de cada clase o rango que comprendía cada criterio, basándose en el objetivo del problema y las alternativas de evaluación, para lo cual se definieron 5 niveles de aptitud: ALTO, MEDIO, BAJO y NO APTO. En los Cuadros 2, 3, 4 y 5 se muestra el proceso descrito anteriormente para cada criterio y subcriterio.

Cuadro 2. Clasificación de los valores para estandarizar el criterio Fisiográfico.

CRITERIO FISIGRÁFICO																																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th colspan="2">PENDIENTE (%)</th> </tr> <tr> <th>RANGO</th> <th>NIVEL ESTANDAR</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0 - 2</td><td>ALTO</td></tr> <tr><td>2 - 4</td><td>ALTO</td></tr> <tr><td>4 - 8</td><td>ALTO</td></tr> <tr><td>8 - 15</td><td>MEDIO</td></tr> <tr><td>15 - 25</td><td>BAJO</td></tr> <tr><td>25 - 50</td><td>NO APTO</td></tr> <tr><td>50 - 75</td><td>NO APTO</td></tr> </tbody> </table>	PENDIENTE (%)		RANGO	NIVEL ESTANDAR	0 - 2	ALTO	2 - 4	ALTO	4 - 8	ALTO	8 - 15	MEDIO	15 - 25	BAJO	25 - 50	NO APTO	50 - 75	NO APTO	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th colspan="2">ALTITUD (m)</th> </tr> <tr> <th>RANGO</th> <th>NIVEL ESTANDAR</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2 - 10</td><td>NO APTO</td></tr> <tr><td>10 - 15</td><td>MEDIO</td></tr> <tr><td>15 - 20</td><td>MEDIO</td></tr> <tr><td>20 - 50</td><td>ALTO</td></tr> <tr><td>50 - 80</td><td>BAJO</td></tr> </tbody> </table>	ALTITUD (m)		RANGO	NIVEL ESTANDAR	2 - 10	NO APTO	10 - 15	MEDIO	15 - 20	MEDIO	20 - 50	ALTO	50 - 80	BAJO
PENDIENTE (%)																																	
RANGO	NIVEL ESTANDAR																																
0 - 2	ALTO																																
2 - 4	ALTO																																
4 - 8	ALTO																																
8 - 15	MEDIO																																
15 - 25	BAJO																																
25 - 50	NO APTO																																
50 - 75	NO APTO																																
ALTITUD (m)																																	
RANGO	NIVEL ESTANDAR																																
2 - 10	NO APTO																																
10 - 15	MEDIO																																
15 - 20	MEDIO																																
20 - 50	ALTO																																
50 - 80	BAJO																																

Fuente: Tesista.

Cuadro 3. Clasificación de los valores para estandarizar el criterio Climático.

CRITERIO CLIMÁTICO																											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th colspan="2">PRECIPITACIÓN PLUVIAL (mm/año)</th> </tr> <tr> <th>RANGO</th> <th>NIVEL ESTANDAR</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1000 - 1200</td><td>MEDIO</td></tr> <tr><td>1200 - 1400</td><td>MEDIO</td></tr> <tr><td>1400 - 1600</td><td>ALTO</td></tr> <tr><td>1600 - 1800</td><td>ALTO</td></tr> <tr><td>1800 - 2000</td><td>ALTO</td></tr> </tbody> </table>	PRECIPITACIÓN PLUVIAL (mm/año)		RANGO	NIVEL ESTANDAR	1000 - 1200	MEDIO	1200 - 1400	MEDIO	1400 - 1600	ALTO	1600 - 1800	ALTO	1800 - 2000	ALTO	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th colspan="2">TEMPERATURA MEDIA (C°)</th> </tr> <tr> <th>RANGO</th> <th>NIVEL ESTANDAR</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>25 - 26</td><td>ALTO</td></tr> <tr><td>26 - 27</td><td>ALTO</td></tr> <tr><td>27 - 28</td><td>MEDIO</td></tr> <tr><td>28 - 29</td><td>MEDIO</td></tr> </tbody> </table>	TEMPERATURA MEDIA (C°)		RANGO	NIVEL ESTANDAR	25 - 26	ALTO	26 - 27	ALTO	27 - 28	MEDIO	28 - 29	MEDIO
PRECIPITACIÓN PLUVIAL (mm/año)																											
RANGO	NIVEL ESTANDAR																										
1000 - 1200	MEDIO																										
1200 - 1400	MEDIO																										
1400 - 1600	ALTO																										
1600 - 1800	ALTO																										
1800 - 2000	ALTO																										
TEMPERATURA MEDIA (C°)																											
RANGO	NIVEL ESTANDAR																										
25 - 26	ALTO																										
26 - 27	ALTO																										
27 - 28	MEDIO																										
28 - 29	MEDIO																										

Fuente: Tesista

Cuadro 4 Clasificación de los valores para estandarizar el criterio Hídrico.

CRITERIO HÍDRICO																									
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th colspan="2">DÉFICIT HÍDRICO (mm/año)</th> </tr> <tr> <th>RANGO</th> <th>NIVEL ESTANDAR</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>40 - 50</td><td>BAJO</td></tr> <tr><td>50 - 60</td><td>MEDIO</td></tr> <tr><td>60 - 70</td><td>ALTO</td></tr> <tr><td>70 - 80</td><td>ALTO</td></tr> </tbody> </table>	DÉFICIT HÍDRICO (mm/año)		RANGO	NIVEL ESTANDAR	40 - 50	BAJO	50 - 60	MEDIO	60 - 70	ALTO	70 - 80	ALTO	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th colspan="2">EXCESO HÍDRICO (mm/año)</th> </tr> <tr> <th>RANGO</th> <th>NIVEL ESTANDAR</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>100 - 200</td><td>MEDIO</td></tr> <tr><td>200 - 300</td><td>ALTO</td></tr> <tr><td>300 - 400</td><td>ALTO</td></tr> <tr><td>400 - 500</td><td>ALTO</td></tr> </tbody> </table>	EXCESO HÍDRICO (mm/año)		RANGO	NIVEL ESTANDAR	100 - 200	MEDIO	200 - 300	ALTO	300 - 400	ALTO	400 - 500	ALTO
DÉFICIT HÍDRICO (mm/año)																									
RANGO	NIVEL ESTANDAR																								
40 - 50	BAJO																								
50 - 60	MEDIO																								
60 - 70	ALTO																								
70 - 80	ALTO																								
EXCESO HÍDRICO (mm/año)																									
RANGO	NIVEL ESTANDAR																								
100 - 200	MEDIO																								
200 - 300	ALTO																								
300 - 400	ALTO																								
400 - 500	ALTO																								

Fuente: Tesista.

Cuadro 5. Clasificación de los valores para estandarizar el criterio Agrológico.

CRITERIO AGROLÓGICO																											
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">MATERIA ORGÁNICA (%)</th> </tr> <tr> <th>RANGO</th> <th>NIVEL ESTANDAR</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>< 2</td> <td>MEDIO</td> </tr> <tr> <td>2 – 4</td> <td>ALTO</td> </tr> <tr> <td>>4</td> <td>ALTO</td> </tr> </tbody> </table>	MATERIA ORGÁNICA (%)		RANGO	NIVEL ESTANDAR	< 2	MEDIO	2 – 4	ALTO	>4	ALTO	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">PROFUNDIDAD EFECTIVA</th> </tr> <tr> <th>CATEGORIA</th> <th>NIVEL ESTANDAR</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Muy superficial</td> <td>NO APTO</td> </tr> <tr> <td>Superficial</td> <td>BAJO</td> </tr> <tr> <td>Moderadamente profundo</td> <td>ALTO</td> </tr> <tr> <td>Profundo</td> <td>ALTO</td> </tr> </tbody> </table>	PROFUNDIDAD EFECTIVA		CATEGORIA	NIVEL ESTANDAR	Muy superficial	NO APTO	Superficial	BAJO	Moderadamente profundo	ALTO	Profundo	ALTO				
MATERIA ORGÁNICA (%)																											
RANGO	NIVEL ESTANDAR																										
< 2	MEDIO																										
2 – 4	ALTO																										
>4	ALTO																										
PROFUNDIDAD EFECTIVA																											
CATEGORIA	NIVEL ESTANDAR																										
Muy superficial	NO APTO																										
Superficial	BAJO																										
Moderadamente profundo	ALTO																										
Profundo	ALTO																										
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">DRENAJE</th> </tr> <tr> <th>CATEGORIA</th> <th>NIVEL ESTANDAR</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Bueno</td> <td>ALTO</td> </tr> <tr> <td>Moderado</td> <td>ALTO</td> </tr> <tr> <td>Imperfecto</td> <td>BAJO</td> </tr> <tr> <td>Pobre</td> <td>NO APTO</td> </tr> <tr> <td>Muy Pobre</td> <td>NO APTO</td> </tr> </tbody> </table>	DRENAJE		CATEGORIA	NIVEL ESTANDAR	Bueno	ALTO	Moderado	ALTO	Imperfecto	BAJO	Pobre	NO APTO	Muy Pobre	NO APTO	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Ph</th> </tr> <tr> <th>CATEGORIA</th> <th>NIVEL ESTANDAR</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Extremadamente ácida</td> <td>MEDIO</td> </tr> <tr> <td>Muy fuertemente ácida</td> <td>ALTO</td> </tr> <tr> <td>Fuertemente ácida</td> <td>ALTO</td> </tr> <tr> <td>Moderadamente ácida</td> <td>ALTO</td> </tr> </tbody> </table>	Ph		CATEGORIA	NIVEL ESTANDAR	Extremadamente ácida	MEDIO	Muy fuertemente ácida	ALTO	Fuertemente ácida	ALTO	Moderadamente ácida	ALTO
DRENAJE																											
CATEGORIA	NIVEL ESTANDAR																										
Bueno	ALTO																										
Moderado	ALTO																										
Imperfecto	BAJO																										
Pobre	NO APTO																										
Muy Pobre	NO APTO																										
Ph																											
CATEGORIA	NIVEL ESTANDAR																										
Extremadamente ácida	MEDIO																										
Muy fuertemente ácida	ALTO																										
Fuertemente ácida	ALTO																										
Moderadamente ácida	ALTO																										
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">TEXTURA</th> </tr> <tr> <th>CATEGORIA</th> <th>CASTAÑA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Franco arenosa (FA)</td> <td>MEDIO</td> </tr> <tr> <td>Franca (F)</td> <td>MEDIO</td> </tr> <tr> <td>Franca limosa (FL)</td> <td>MEDIO</td> </tr> <tr> <td>Franco arcillosa (FArc)</td> <td>ALTO</td> </tr> <tr> <td>Franco arcillo arenosa (FArcA)</td> <td>ALTO</td> </tr> <tr> <td>Franco arcillo limosa (FArcL)</td> <td>ALTO</td> </tr> </tbody> </table>		TEXTURA		CATEGORIA	CASTAÑA	Franco arenosa (FA)	MEDIO	Franca (F)	MEDIO	Franca limosa (FL)	MEDIO	Franco arcillosa (FArc)	ALTO	Franco arcillo arenosa (FArcA)	ALTO	Franco arcillo limosa (FArcL)	ALTO										
TEXTURA																											
CATEGORIA	CASTAÑA																										
Franco arenosa (FA)	MEDIO																										
Franca (F)	MEDIO																										
Franca limosa (FL)	MEDIO																										
Franco arcillosa (FArc)	ALTO																										
Franco arcillo arenosa (FArcA)	ALTO																										
Franco arcillo limosa (FArcL)	ALTO																										

Fuente: Tesista.

Una vez determinada la importancia relativa de los subcriterios, se realizó la estandarización mediante el método de comparación pareada, utilizando la escala adaptada de nueve puntos de Saaty (Saaty, 1994).

Tabla 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

Se ejemplifica este procedimiento con el subcriterio pendiente:

Cuadro 6. Matriz de comparación pareada del subcriterio Pendiente

PENDIENTE	ALTO	MEDIO	BAJO	NA	VALOR NORMALIZADO				PESO
ALTO	1	3	7	9	0.63	0.67	0.62	0.45	0.59
MEDIO	0.33	1	3	7	0.21	0.22	0.26	0.35	0.26
BAJO	0.14	0.33	1	3	0.09	0.07	0.09	0.15	0.10
NO APTO	0.11	0.14	0.33	1	0.07	0.03	0.03	0.05	0.05
	1.59	4.48	11.33	20.00					1.00

Fuente: Tesista.

Con los valores obtenidos de la comparación pareada, se utilizó el método del valor máximo, que consiste en dividir cada valor por el máximo para obtener los valores estandarizados, este método se representa con la siguiente ecuación:

$$m_i = \frac{x_{ii}}{\max. x_{ii}}$$

En el cuadro se muestran los valores estandarizados para dicho criterio. La estandarización de los demás subcriterios se muestra en el Anexo 5.

Cuadro 7. Valores para estandarizar el subcriterio Pendiente.

NIVEL	VALOR ESTANDAR
ALTO	1.00
MEDIO	0.44
BAJO	0.17
NO APTO	0.08

Fuente: Tesista.

2.2.3 Ponderación de los criterios y subcriterios

Nuevamente se realizó la determinación de la importancia relativa, esta vez de los criterios en función a sus subcriterios y a nivel de criterios por pares de la matriz de comparación, utilizando la escala adaptada (tabla 1) de nueve puntos de Saaty (Saaty, 1994).

Se ejemplifica este procedimiento a nivel de criterio y con el criterio agrológico:

Cuadro 8. Matriz de comparación pareada y pesos obtenidos a nivel Criterios.

CRITERIOS	FISIO	CLIM	AGRO	HIDRO	VALOR NORMALIZADO				PESOS
FISIOGRAFICO	1	3	5	5	0.60	0.64	0.42	0.54	0.55
CLIMATICO	0.33	1	3	3	0.20	0.21	0.25	0.32	0.25
AGROLOGICO	0.20	0.33	1	0.33	0.12	0.07	0.08	0.04	0.08
HIDROLOGICO	0.14	0.33	3.00	1	0.09	0.07	0.25	0.11	0.13
	1.68	4.67	12.00	9.33					1.00

Fuente: Tesista.

Cuadro 9. Matriz de comparación pareada y pesos obtenidos del subcriterio Agrológico.

AGROLOGICO	TEXT	PROF	DREN	PH	MO %	VALOR NORMALIZADO					PESOS
TEXTURA	1	0.33	0.33	3	3	0.13	0.16	0.07	0.24	0.18	0.16
PROFUNDIDAD	3	1	3	5	5	0.39	0.48	0.62	0.41	0.29	0.44
DRENAJE	3	0.33	1	3	5	0.39	0.16	0.21	0.24	0.29	0.26
PH	0.33	0.20	0.33	1	3	0.04	0.10	0.07	0.08	0.18	0.09
MO %	0.33	0.20	0.20	0.33	1	0.04	0.10	0.04	0.03	0.06	0.05
	7.67	2.07	4.87	12.33	17.00						1.00

Fuente: Tesista.

La ponderación de cada subcriterio se muestra en el Anexo 6.

Para asegurar que la toma de decisión sea lo más objetiva posible, se utilizó el índice de consistencia:

$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$	<p>Donde:</p> <p>IC = Índice de consistencia</p> <p>n = el número de ítems que se compararan en la matriz</p> <p>λ_{max} = El mayor valor propio</p>
--	---

Con este índice se calcula la proporción de consistencia, mediante la siguiente ecuación:

$CR = \frac{IC}{RI}$	<p>Donde:</p> <p>CR = Proporción de consistencia</p> <p>IC = Índice de consistencia</p> <p>RI = Índice de consistencia aleatorio*</p>
----------------------	--

* Esto es el índice de consistencia de una matriz de comparaciones pareadas generada aleatoriamente, este se muestra en el cuadro. Se puede ver que RI depende de número de elementos que son comparados.

Tabla 2. Valores de Índice aleatorio de Consistencia. (Saaty, 1980).

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
RI	0.00	0.00	0.52	0.89	1.11	1.25	1.35	1.40	1.45	1.49	1.51	1.54

La proporción de consistencia (CR) es considerada aceptable si es menor o igual a 0.10 (10%); es decir se acepta la estimación de los pesos (W) cuando $CR \leq 10\%$. En caso contrario, se concluirá que los pesos tienen demasiadas inconsistencias y se necesita una revisión.

Este procedimiento solo se realizó a nivel de criterio y con el criterio agrológico puesto a que estos poseen más de 2 elementos comparados.

Cuadro 10. Cálculo del índice de consistencia a nivel de Criterios.

CRITERIOS	FISIO	CLIM	AGRO	HIDRO	PESOS	MEDIDA DE CONSISTENCIA		
FISIOGRAFICO	1	3	5	5	0.55	2.32	CI=	0.07
CLIMATICO	0.33	1	3	3	0.25	1.05	RI=	0.88
AGROLOGICO	0.20	0.33	1	0.33	0.08	0.31	CR=	0.07
HIDROLOGICO	0.14	0.33	3.00	1	0.13	0.52		
	1.68	4.67	12.00	9.33	1.00	4.20		

Fuente: Tesista.

Cuadro 11. Cálculo del índice de consistencia del criterio Agrológico.

AGROLOGICO	TEX	PROF	DRE	PH	MO %	PESOS	MEDIDA DE CONSISTENCIA		
TEXTURA	1	0.33	0.33	3	3	0.16	0.83	CI=	0.11
PROFUNDIDAD	3	1	3	5	5	0.44	2.42	RI=	1.12
DRENAJE	3	0.33	1	3	5	0.26	1.42	CR=	0.09
PH	0.33	0.20	0.33	1	3	0.09	0.48		
MO %	0.33	0.20	0.20	0.33	1	0.05	0.28		
	7.67	2.07	4.87	12.33	17.00	1.00	5.42		

Fuente: Tesista.

2.2.4 Superposición

Este procedimiento se realizó con el programa ArcMap 10.1 del software ArcGIS. A cada mapa de criterio (Fisiografía, Clima, Hidrología y Agrológica) Se asignó los valores de importancia por sub criterio en la tabla de atributos para generar el mapa de aptitud mediante la sumatoria lineal jerarquizada, la cual consiste en la multiplicación de cada mapa criterio estandarizado por su peso correspondiente, seguida de la sumatoria de todos los criterios y la ponderación de los valores obtenidos en el mapa. Es decir, se superpusieron todos los mapas de criterios utilizando el índice de aptitud.

$$SI = RIA1 * \sum_{i=1}^m RIBi * RIKBi + RIA2 * \sum_{y=1}^l RICy * RIKCy + \dots + RIAN * \sum_{z=1}^j RIDz * RIKDz$$

Donde;

SI es el índice de aptitud de cada celda; N es el número de criterios principales; $RIA_1, RIA_2 \dots RIA_N$, son la importancia relativa de los principales criterios $A_1, A_2 \dots A_N$, respectivamente; m, l y j son el número de subcriterios directamente conectado con los principales criterios $A_1, A_2 \dots A_n$, respectivamente; RIB, RIC y RID son la importancia relativa de los subcriterios B, C y D conectado directamente a los criterios principales $A_1, A_2 \dots A_N$, respectivamente; $RIKB, RIKC$ y $RIKD$ son la importancia relativa de los indicadores de la categoría k de sub criterios B, C y D y los criterios principales $A_1, A_2 \dots A_N$, respectivamente.

2.2.5 Modelamiento cartográfico

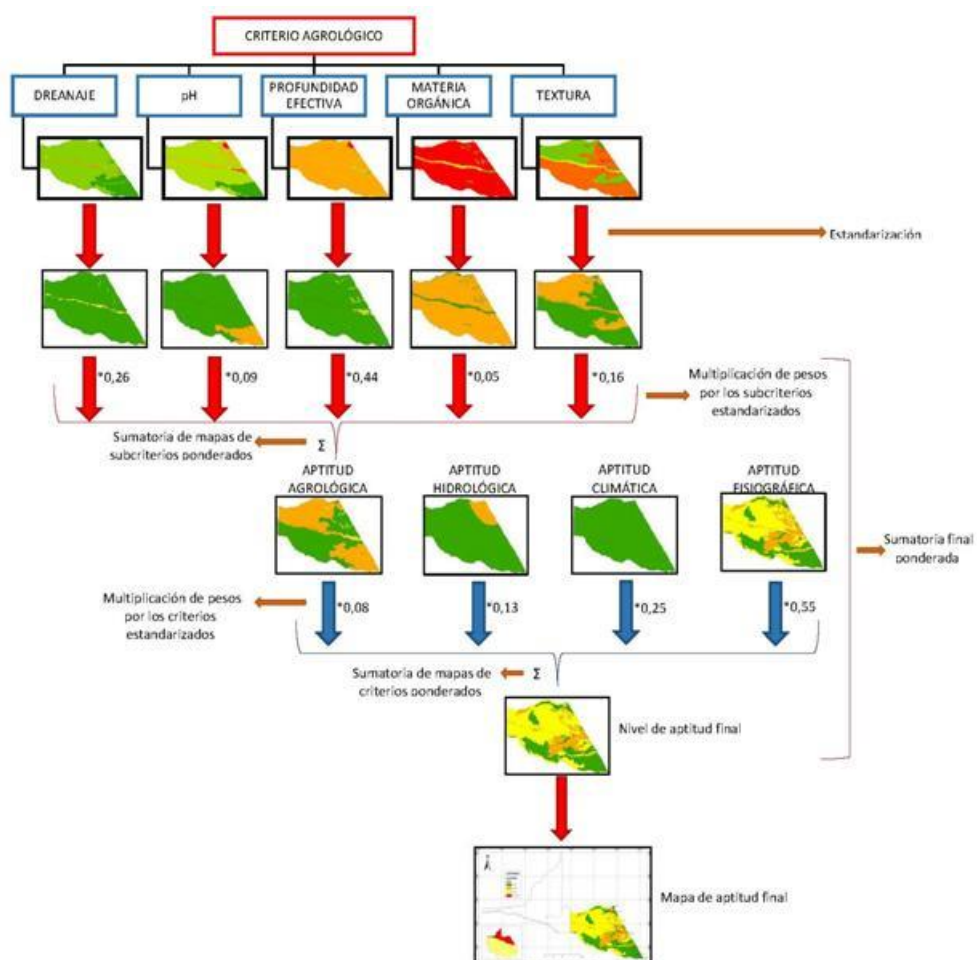


Figura 3. Esquema metodológico que muestra la secuencia de evaluación y utilización del método de evaluación multicriterio conocido como AHP. Fuente: Tesista.

CAPÍTULO III: REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 MARCO TEÓRICO

3.1.1 Sobre Castaña (*Bertholletia excelsa* HBK)

MORI Y PRANCE, 1990 citado por **SCOLES et al. 2015**, señalan que la castaña amazónica es la única especie del género *Bertholletia* de la familia *Lecythidaceae*. Su porte arbóreo y sus frutos comestibles hacen de esta especie uno de los principales iconos vegetales de la selva Amazónica. La distribución de esta especie se extiende de este a oeste de la cuenca amazónica, ocurriendo de forma discontinua en los bosques de tierra firme entre las latitudes 5°S y 14°N.

Así mismo este autor **SCOLES et al. 2015**, hace una recopilación de diferentes autores para indicar que la castaña cuenta con las siguientes características ecológicas: a) tendencia a formar aglomeraciones con alta densidad de individuos; b) estructura poblacional de tamaños intermedios de diámetros y baja presencia de los árboles jóvenes; c) su ecología reproductiva depende de la polinización de abejas robustas solitarias e de dispersión de semillas por añujes (*Dasyprocta spp.*, Rodentia) y/o seres humanos; d) el esplendor del árbol depende de la luz con un alto rendimiento en espacios libres; e) germinación tardía en condiciones naturales, con tiempo de inacción de las semillas pasando periodo de un año; e) baja tasa de sobrevivencia en el sub bosque forestal en el primer año de vida, debido a los frecuentes casos de depredación del endosperma (almendra que contiene reserva nutricional) por animales silvestres.

Algunos autores señalan que la Castaña es una especie indicadora de disturbios pasados por su alta capacidad de sobrevivencia y rebrotamiento en ambientes perturbados.

COSTA et al. 2009, indica que la Castaña es una especie promisoras para la formación de sistemas agroforestales y es un importante componente para la rehabilitación de áreas

abandonadas y degradadas en la Amazonía pues tiene un desempeño silvicultural que destacan para los sitios con mejores condiciones edáficas.

CORVERA et al. 2014, subraya que la castaña reconocida como producto forestal no maderable ha sido señalada como una especie importante para las estrategias de conservación y desarrollo de los bosques lluviosos de la Amazonía, así como el mantenimiento de la diversidad biológica en sus ecosistemas. Sin embargo, las poblaciones naturales de esta especie vienen enfrentando amenazas debido a los crecientes asentamientos humanos que ejercen una presión sobre los recursos genéticos.

Además, este mismo autor **CORVERA et al. 2014**, agrega que en el Perú, el departamento dedicado a la recolección de la castaña es Madre de Dios. La importancia de la castaña no sólo radica en su aporte a la economía gracias a la exportación, sino por su componente ecológico en la preservación de la selva amazónica, ya que su explotación permite frenar la depredación de los bosques.

Así mismo, **CORVERA et al. 2006** en otro estudio resalta que la determinación de las áreas potencialmente aptas para el desarrollo de sistemas agroforestales con castaña *Bertholletia excelsa* en la Región Madre de Dios, es de fundamental importancia para establecer un marco referencial y una adecuada recuperación de áreas deforestadas en zonas que presenten las condiciones agroecológicas para el establecimiento de la especie.

▪ **Beneficio Económico de la Castaña (Según diario “GESTIÓN”)**

En el país las cosechas de este castaño son anuales. A partir del año 12 cada árbol puede rendir de 40 a 60 frutos. En los mercados un solo fruto se comercializa a S/. 3 aproximadamente, lo cual significa una ganancia anual de S/. 120 a S/. 180 por árbol.

Sin embargo como el castaño es una especie que aumenta su producción de frutos en el tiempo, en su etapa madura puede llegar a rendir de 200 a 400 frutos, lo que implica una ganancia entre los S/. 600 y S/. 1,200 anuales por árbol.

La inversión en este esquema es muy accesible: a todo costo, un productor podría invertir S/. 4 000 por hectárea. Si utilizara mano de obra familiar, podría reducirlo a S/. 2 000 por hectárea.

En el Perú existen 7.5 millones de hectáreas deforestadas a nivel nacional. De la cifra, 2 millones de hectáreas de suelos degradados pertenecen a la Amazonía.

Con acondicionamiento inicial del suelo y manejo adecuado a la plantación la tecnología permitiría recuperar esos terrenos muchas veces dados por perdidos y abandonados.

Por su propia naturaleza, el árbol del castaño no puede vivir solo: necesita asociarse con árboles no maderables para sobrevivir y producir frutos. Por lo mismo, este esquema de producción ayudará a conceptualizar la plantación no tanto como un terreno cultivable sino como un bosque, con el consiguiente impacto ecológico y turístico.

3.1.2 Aptitud de tierras

Según el **CONIF, 1998**, señalan que las reforestaciones actualmente se establecen con la finalidad del doble propósito: productor-protector, cumpliendo con muchas de las funciones de los bosques naturales. Si las plantaciones forestales se planifican correctamente, pueden ayudar a estabilizar y mejorar el medio ambiente. Sin embargo, para asegurar la conservación de las especies animales y vegetales y los ecosistemas locales, así como la estabilidad ecológica a nivel del paisaje, será preciso poner en práctica medidas complementarias contempladas en los planes integrados de desarrollo y uso de tierras.

SOTELO et al. 2016; menciona que es necesario el desarrollo e implementación de conocimiento científico para resolver los problemas de la mala selección de zonas potenciales y la aplicación de tecnologías. Una forma de lograrlo es a través de la generación e instrumentación de metodologías para identificar las zonas con aptitud

Además, este mismo autor resume de otros autores que estas metodologías deben considerar tanto los requerimientos de la especie como las características particulares del entorno, para

garantizar un uso adecuado del terreno, con alta producción y el menor impacto al ambiente (**PERALES, 2009; UCCS, 2009**). En este sentido los tomadores de decisiones de estudios sobre la capacidad del territorio para el crecimiento de la especie con el objeto de instrumentar programas de desarrollo regional que impulsen la producción y ayuden a la capitalización de los productores rurales (**JORDAN, 2008; STUART Y EMERSON, 2009**).

VAN LANEN et al. 1992; citado por **SOTELO et al. 2016** indica que para la evaluación de las tierras, existen métodos cualitativos, índices de productividad y modelos de simulación matemática, los que pueden ser usados en forma separada o combinados.

OLIVAS et al. 2006, afirma que para establecer plantaciones forestales exitosas, desde una perspectiva agroecológica, es necesario tener conocimiento detallado de al menos tres aspectos: 1) Los requerimientos climáticos, edáficos y fisiográficos de las especies; 2) Las características edafoclimáticas y fisiográficas de los sitios donde se pretende plantar; y 3) Un método que permita unificar los dos aspectos anteriores.

Además, **SANTÉ y CRECENTE, 2005**, citado por **OLIVAS et al. 2006**, indican que la evaluación de la aptitud de un terreno, definida como su capacidad para servir a un uso determinado, requiere de un proceso a través del cual se predice la capacidad inherente de la tierra para servir a dicho uso durante un tiempo. Existen varios sistemas de evaluación para determinar la aptitud de las tierras, por lo que en la planificación del uso del suelo la elección del método de evaluación depende mucho de los usos a ser considerados en la planificación.

DELGADO et al. 2008, resalta que la zonificación de áreas para el establecimiento de plantaciones forestales comerciales de una especie en particular es un aspecto importante, ya que las consecuencias sociales y económicas derivadas de una mala selección de sitios

destinados al establecimiento de plantaciones pueden resultar inaceptable para la sociedad e inversionistas del ramo.

3.1.3 El uso de los Sistemas de información geográfica (SIG) y Teledetección en la identificación de zonas de aptitud.

IVERSON et al., 1989, citado por **MARTINEZ y PRIETO, 2011**; define que los SIG son herramientas diseñadas para capturar, almacenar y analizar información acerca de atributos espaciales (puntos, líneas, polígonos, elevaciones o cualquier rasgo que tenga posición en el espacio), que utilizan como insumos básicos, las imágenes de satélite, cartografía temática y el análisis fotogramétrico, que brindan opciones de monitoreo de diversos atributos de los recursos naturales. Además **KAUFMANN et al., 1990**, citado por estos mismos autores, agrega que los SIG permiten estimar potenciales de productividad, sobre superficies extensas.

MARTINEZ, 2008, señala que el uso de estos sistemas para delimitar superficies aptas para establecer plantaciones forestales se ha desarrollado en la última década, donde se plantean metodologías diversas, las cuales parten de la identificación de los requerimientos de las especies a ser plantadas y finalmente se aplican a procedimientos algebraicos y aritméticos espaciales en cada sistema de información utilizada.

Así mismo, **PINEDO, 2008**, citado por **MARTINEZ y PRIETO, 2011**; agrega que tanto las imágenes de satélite, datos meteorológicos, Modelos Digitales de Elevación o cartografía temática, proporcionan información útil sobre las variables físicas del terreno y para la selección de áreas prioritarias. Todos los procedimientos metodológicos para definir áreas potenciales involucran la clasificación de estas variables en función de su influencia sobre la productividad del sitio.

Sin embargo, **JANSSEN y RIETVED, 1990**; mencionados por **CEBALLOS y LÓPEZ 2010**; afirman que la funcionalidad de los SIG en la solución de los problemas de identificación de

áreas para diferentes usos, se ve limitada cuando se emplea el enfoque de superposición determinística de mapas.

3.1.4 Evaluación multicriterio (EMC) para establecer niveles de aptitud

VALERIE y STEWARD, 2002; GARCÍA, 2004a; citados por **SOTELO et al. 2016;** indican que la teoría de la decisión es un enfoque de gran aplicación en las ciencias ambientales, tales como: la evaluación del impacto ambiental, proyectos de desarrollo regional y la planificación territorial. **ROMERO, 1993;** citado por este autor, menciona que los procesos de toma de decisiones, tradicionalmente se basan en técnicas que buscan las soluciones factibles que presenten un mayor grado de precisión. Entre estas técnicas se encuentra el análisis multicriterio.

BARREDO, 1996, citado por **CEBALLOS y LÓPEZ 2010;** señala que la toma de decisiones con EMC es un proceso basado en un conjunto de conceptos, modelos y métodos para describir, evaluar, jerarquizar, elegir o rechazar alternativas, con base en una valoración expresada por intensidades de preferencia, de acuerdo con diversos criterios.

ZELNY, 1982; mencionado por **RAMÍREZ et al. 2015;** indica que se aplican técnicas de análisis de decisiones multicriterio (MCDA) como una ayuda para la selección de alternativas en presencia de criterios múltiples, generalmente con objetivos contradictorios.

GUITOUNI y MARTEL, 1998; citado por **RAMÍREZ et al. 2015;** menciona que la MCDA consiste, sin tener en cuenta el método particular aplicado, en cuatro pasos: (i) estructurar la jerarquía del problema, (ii) establecer las reglas de agregación, (iii) agrupar los atributos, y (iv) alternativas.

MALCSEWSKI, 2004; mencionado por **OLIVAS et al. 2007;** resalta que actualmente empiezan a ser integradas en los SIG otras técnicas de modelación cartográfica para solucionar problemas de mayor complejidad, que superan las desventajas que presentan las técnicas convencionales de modelos algebraicos. Entre ellas destacan la evaluación multicriterio espacial, la cual tiene su fundamento en la teoría y conceptos en la toma de decisiones.

GENELETTI et al., 2011 citado por **GONZALEZ, 2014**; determina que una EMC en un ambiente SIG se convierte en una Evaluación Multicriterio Espacial, la cual es un procedimiento que sirve para identificar y comparar soluciones a un problema espacial, basado en la combinación de múltiples factores que pueden ser, al menos parcialmente representados por mapas. Dicho de otra manera, es un proceso donde los datos geográficos se combinan y se transforman en una decisión. Implica la entrada de datos, las preferencias del tomador de decisiones y la manipulación de la información usando reglas especificadas de la decisión

GÓMEZ Y BARREDO, 2005; citados por **AGUILAR et al. 2010**; mencionan que la integración de la EMC y los SIG genera una herramienta para asistir procesos de análisis espacial en gestión ambiental, a través de la construcción de mapas temáticos, derivados de bases de datos geográficas y territoriales en especial para la asignación/localización de actividades productivas generándose una serie de posibilidades de aplicación en SIG, y pudiendo asistir de manera eficaz a procesos de planificación y ordenación del territorio, o bien realizando operaciones de localización/asignación tomando en cuenta diversos criterios y múltiples objetivos.

GONZALEZ, 2014; resalta que: la modelación multicriterio se ha utilizado en numerosos estudios de resolución de conflictos ambientales (**MALCSEWKI, 1099**), debido a que estas técnicas permiten integrar de manera sistemática y rigurosa información de cualquier tipo tangible e intangible, dado que los algoritmos en los que se basa hacen posible considerar en forma participativa y fundamentada cada uno de los factores, procesos y alternativas que son relevantes para alcanzar la meta más definida (**FMCN, 2009**).

- **El Proceso Analítico Jerárquico (AHP)**

Romero, 1996; FAO, 2000; citados por **OLIVAS et al. 2006**; señalan que una de las técnicas de evaluación multicriterio es el proceso analítico jerarquizado (PAJ –AHP analytic hierarchy process) que fue desarrollado por el Dr. Thomas Saaty en los años 70, la cual fue diseñada para reflejar la manera de pensar de la gente ante problemas complejos, asumiendo que

mediante la comparación de pares de criterios es posible derivar la importancia relativa de éstos. Parte del supuesto que los expertos tienen una habilidad innata para emitir juicios sobre pequeños problemas y asignar valores numéricos a dichos juicios.

OLIVAS et al. 2006, expone que la técnica consiste en descomponer un problema complejo de decisión en grupos y jerarquías simples. En una matriz de comparación pareada se confrontan los criterios relevantes identificados para establecer su peso o importancia en la toma de decisiones (v. g., definir áreas con aptitud para establecer plantaciones).

Así mismo, **MALCZEWSKI, 1999**, citado por **GONZALEZ, 2014** señala que el método AHP conduce a los tomadores de decisiones a analizar una decisión en partes, iniciando por definir el objetivo principal (jerarquía 1), los criterios (jerarquía 2), los subcriterios (jerarquía 3) y finalizando por las alternativas (jerarquía n). Una vez descompuesto o jerarquizado el problema, se utilizan las técnicas de comparación pareada (par a par) dentro de cada jerarquía, con la finalidad de hacer juicios simples a través de la jerarquía, de esta manera llegar a las prioridades globales de dichas alternativas.

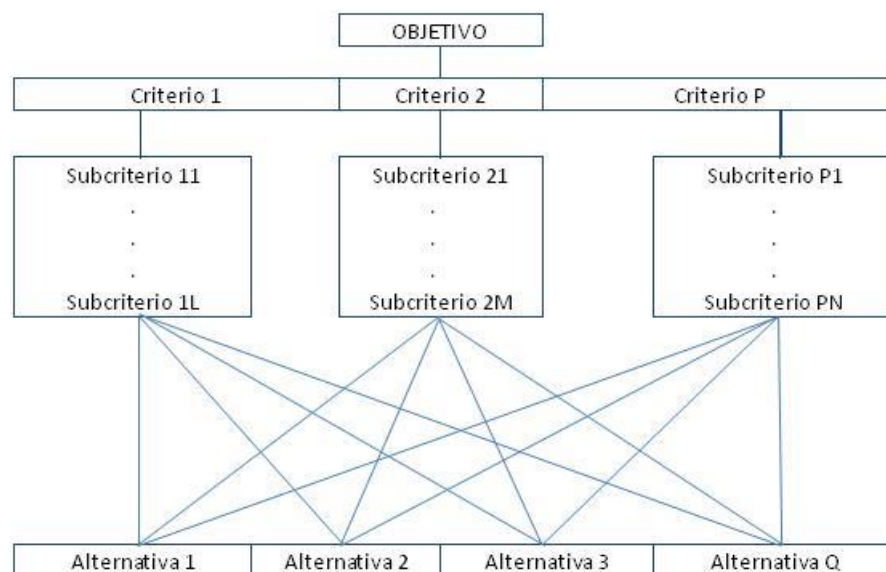


Figura 4. Descomposición de un problema en jerarquías (Malczewski, 1999)

En la figura, el objetivo corresponde a identificar el potencial del territorio, los criterios corresponden a parámetros agroecológicos: climáticos, edáficos y de relieve. Los subcriterios corresponden a las clases de cada criterio (pe. Clima: Tmax, Tmin, precipitación pluvial). Las alternativas, corresponden a los niveles de aptitud del territorio para la especie (ALTO, MEDIO, BAJO y NO APTO), que será evaluado según la aptitud agroecológica.

Además, **OLIVAS et al. 2006** , indica que el PAJ o AHP es un proceso debido a que no hay un preciso instante en que se toma la decisión, es analítico porque utiliza un razonamiento lógico-matemático que representa el conocimiento y entendimiento del tomador de decisiones a un problema, y es jerárquico porque descompone el problema en decisiones de menor dimensión.

3.2 MARCO CONCEPTUAL

- **Manejo sostenible.** Administración y uso de bosques y tierras forestales, de manera que mantenga su biodiversidad, productividad, capacidad de regeneración, vitalidad y su potencial para cumplir ahora y en el futuro, las relevantes funciones ecológicas, económicas y sociales, a nivel global, nacional local.
<http://biblioteca.ucn.edu.co/repositorio/Documents/Agroindustria-Y-Forestales/49-Ejecucion-plan-manejo-recursos-dela-plantacion/05Glosario.html>
- **Castaña o nuez del Brasil (*Bertholletia excelsa HBK*).** El nombre técnico fue dado por Humbolt, Bonpland (1808) y Kunth. Es una especie nativa perteneciente a la familia botánica *Lecythidaceae*. Es un producto forestal no maderero que se desarrollan en los bosques altos de las zonas no inundables de la Amazonía brasileña, boliviana y peruana, ocurriendo también al estado silvestre en la Amazonía colombiana, venezolana y en las Guayanas.
http://agroaldia.minag.gob.pe/biblioteca/download/pdf/manuales-boletines/nueces/nueces_2012.pdf

- **Sistemas de información Geográfica (SIG).** Se define como un conjunto de métodos, herramientas y datos que están diseñados para actuar coordinada y lógicamente para capturar, almacenar, analizar, transformar y presentar toda la información geográfica y de sus atributos con el fin de satisfacer múltiples propósitos.

www.oirsa.org/prepac/documentos_generales/sistemas_inf_geog.pdf

- **Análisis multicriterio.** Es una herramienta de apoyo al proceso de toma de decisiones. Se utiliza para facilitar el camino hacia la decisión, de manera que en intervengan distintos puntos de vista, aunque sean contradictorios. Dentro de sus ventajas se halla la de simplificar las situaciones complejas. https://www.ecured.cu/An%C3%A1lisis_multicriterio.

- **Proceso analítico Jerárquico o Jerarquizado.** Es una técnica usada para la toma de decisiones con atributos múltiples. Permite la descomposición de un problema en una jerarquía y asegura que tanto los aspectos cualitativos como cuantitativos de un problema sean incorporados en el proceso de evaluación, durante la cual la opinión es extraída sistemáticamente por medio de comparaciones entre pares. Permite la aplicación de datos, experiencia, conocimiento, e intuición de una forma lógica y profunda dentro de una jerarquía como un todo. (Saaty 1980; 1987).

- **Conservación.** Se encarga de trazar las medidas encaminadas para la utilización racional de los recursos naturales, ya sean vivos (flora y fauna), como no vivos (suelo, minerales, y agua) que el hombre emplea para su propio beneficio.

http://www.elcastellano.org/glosario_ambiental.pdf

- **Aprovechamiento (Ambiental).** Es la utilización de los recursos naturales en el espacio de manera tal que pueda obtenerse de ellos el mejor rendimiento posible y se evite su dilapidación, depredación y deterioro. (Sánchez, V. 1986).

- **Aptitud de tierras.** Capacidad productiva del suelo hasta el límite en el cual puede producirse deterioro. Define su aptitud para el uso con fines agrícolas, pecuarios, forestales, paisajísticos, etc. Existen distintas metodologías para su determinación.

http://www2.medioambiente.gov.ar/bases/glosario_ambiental/definicion.asp?id=23

CAPÍTULO IV:

ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS

Luego de concluido con la aplicación de la metodología, con los datos obtenidos se procede a realizar el respectivo análisis de los mismos, los cuales se presentan a continuación:

4.1 PESOS PONDERADOS DE CRITERIOS Y SUBCRITERIOS

En el siguiente cuadro se muestra un resumen de los pesos obtenidos de los criterios y subcriterios que seleccionaron para el establecimiento de zonas aptas para el desarrollo de Castaña, además del orden de prioridad que estos poseen.

Cuadro 12. Resumen de los resultados de las matrices de comparación pareadas asignados a cada criterio y subcriterio de evaluación

CRITERIOS	PESOS PONDERADOS	Moda de orden de prioridad
Fisiográfico	0.55	1
Climático	0.25	2
Hídrico	0.13	3
Agrológico	0.08	4

Fuente: Tesista.

SUBCRITERIOS	PESOS PONDERADOS	Moda de orden de prioridad
Altitud	0.75	1
Pendiente	0.25	2
Precipitación	0.75	1
Temperatura media	0.25	2
Exceso hídrico	0.75	1
Déficit hídrico	0.25	2
Profundidad efectiva	0.44	1
Drenaje	0.26	2
Textura	0.16	3
pH	0.09	4
MO	0.05	5

Fuente: Tesista.

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.

Los subcriterios altitud y pendiente se consideraron de especial importancia en el proceso, debido a que si no se cumple con alguno de ellos, podría repercutir drásticamente en el desarrollo de la especie.

4.2 MODELAMIENTO ESPACIAL

A continuación se describen los mapas parciales de aptitud para Castaña según cada criterio y los mapas aptitud para Castaña según cada subcriterios asignando su valor estandarizado. El mapa parcial de cada criterio se obtiene de la combinación lineal de los pesos de los mapas de subcriterios estandarizados. Para su mejor entendimiento y visualización, a cada nivel de aptitud se le asignó un color: El color verde nos indica que son zonas de aptitud alta, el color anaranjado son las zonas de aptitud media, el color amarillo simbolizan las zonas de aptitud baja y el color rojo son zonas no aptas.

- **CRITERIO FISIOGRÁFICO**

Para obtener el mapa parcial de aptitud para crecimiento de Castaña según el criterio Fisiográfico se hizo la combinación lineal de los pesos de los mapas estandarizados del subcriterio Altura y subcriterio Pendiente.

- SUBCRITERIO ALTURA

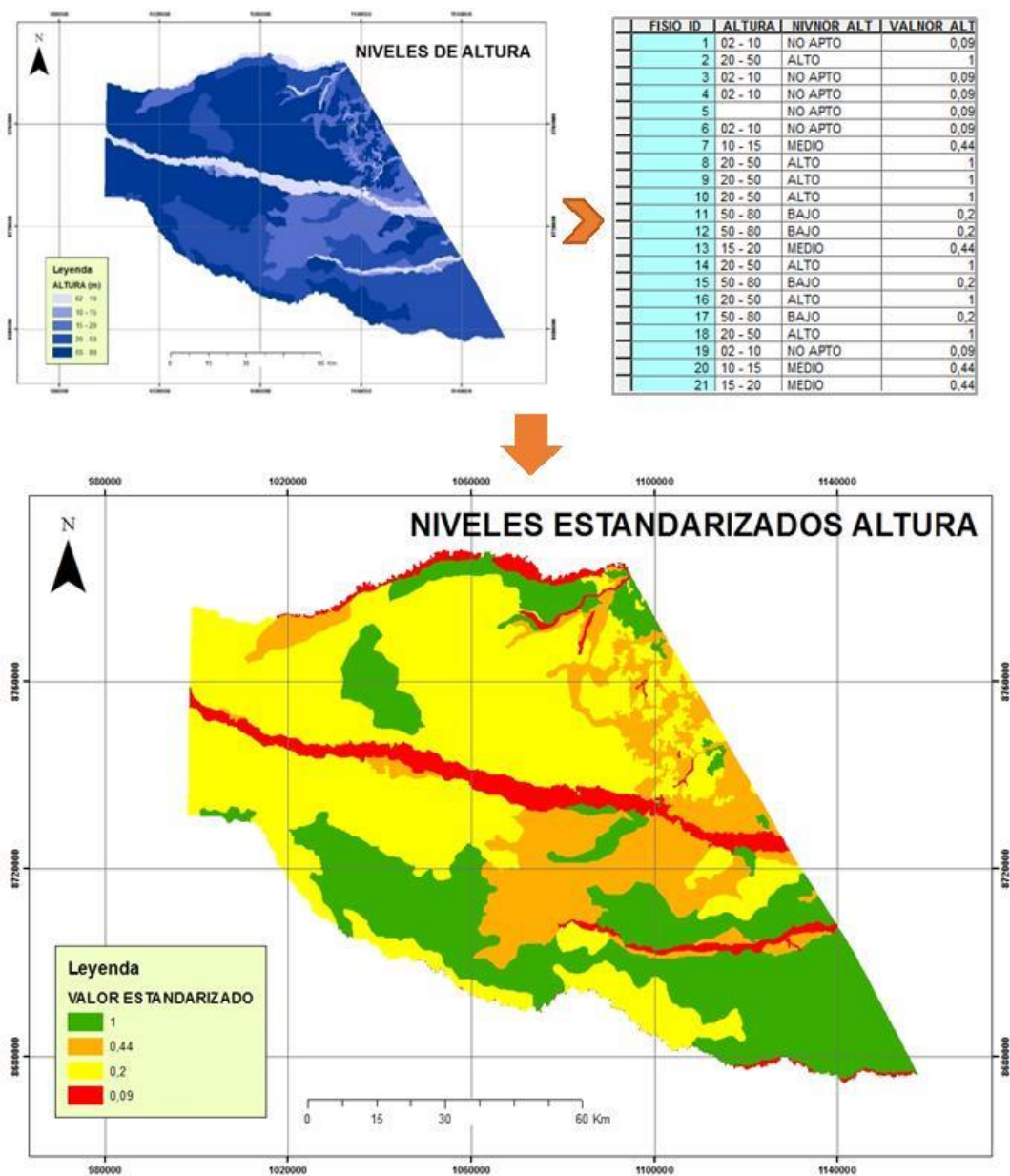


Figura 5. Obtención del mapa parcial con valores estandarizados del sub criterio Altura. Fuente: Tesista.

En la figura 5 se muestra el resultado de la estandarización del subcriterio Altura plasmados en el mapa, de acuerdo a este subcriterio se puede apreciar que las zonas de aptitud alta mayormente se encuentran en la parte sur este del área, las zona de aptitud media se encuentran casi por el centro y las zonas de aptitud baja que poseen áreas más extensas, se

encuentran distribuidos por casi todo el área de estudio y las zonas no aptas están cercanas a los ríos y algunos vallecitos.

- SUBCRITERIO PENDIENTE

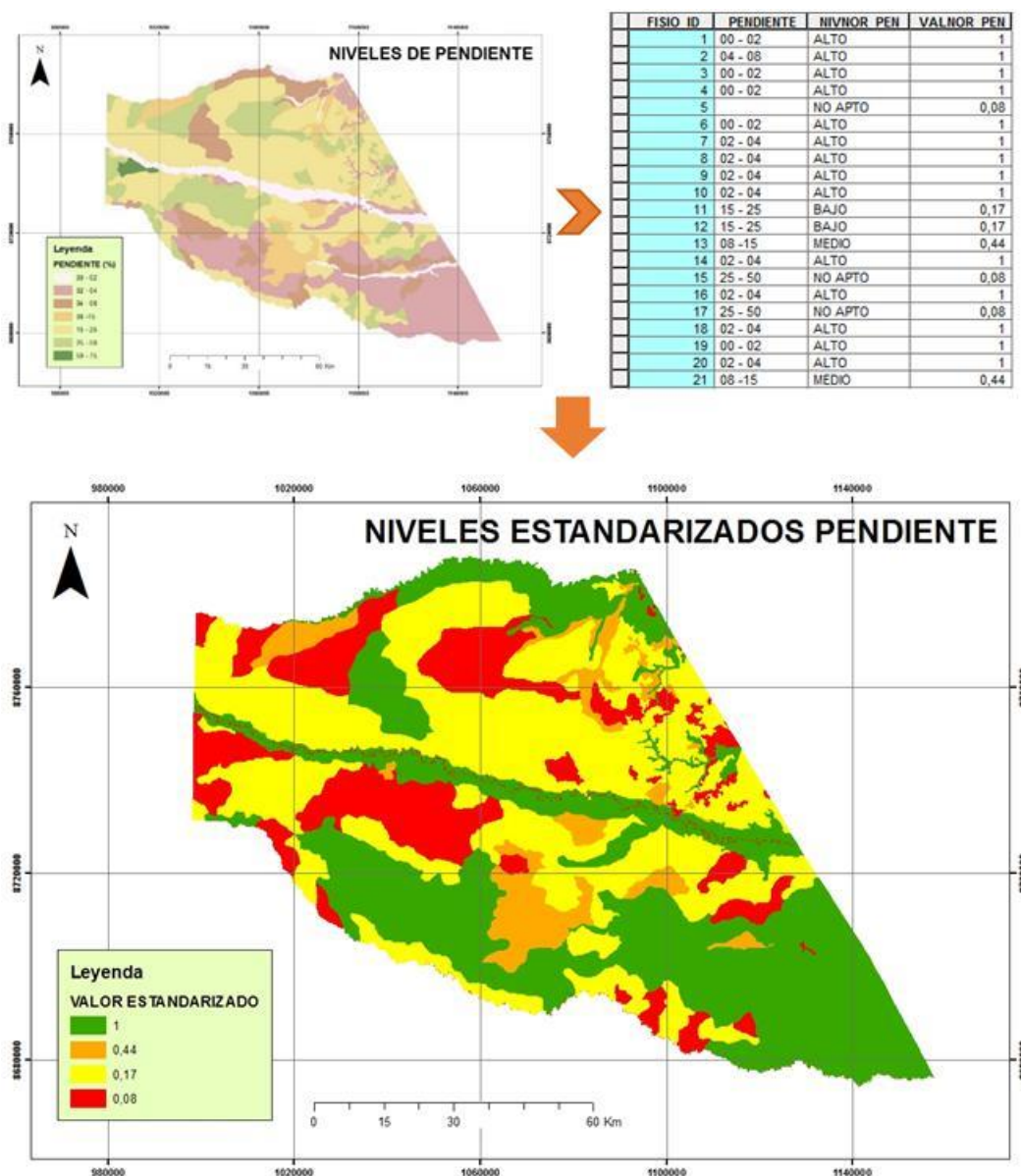


Figura 6. Obtención del mapa parcial con valores estandarizados del sub criterio Pendiente. Fuente: Tesista.

En la figura 6 se muestra el resultado de la estandarización del subcriterio Pendiente plasmados en el mapa, la zonas con aptitud alta se encuentra también por la parte sur este

mayormente y en las márgenes del río Tahuamanu, los de aptitud media se encuentran en menor proporción dispersas por la parte centro, las zonas de aptitud baja se encuentran dispersas por todo el área y en mayor proporción se encuentran las zonas no aptas dispersas también en el área de estudio.

- MAPA PARCIAL CRITERIO FISIGRÁFICO

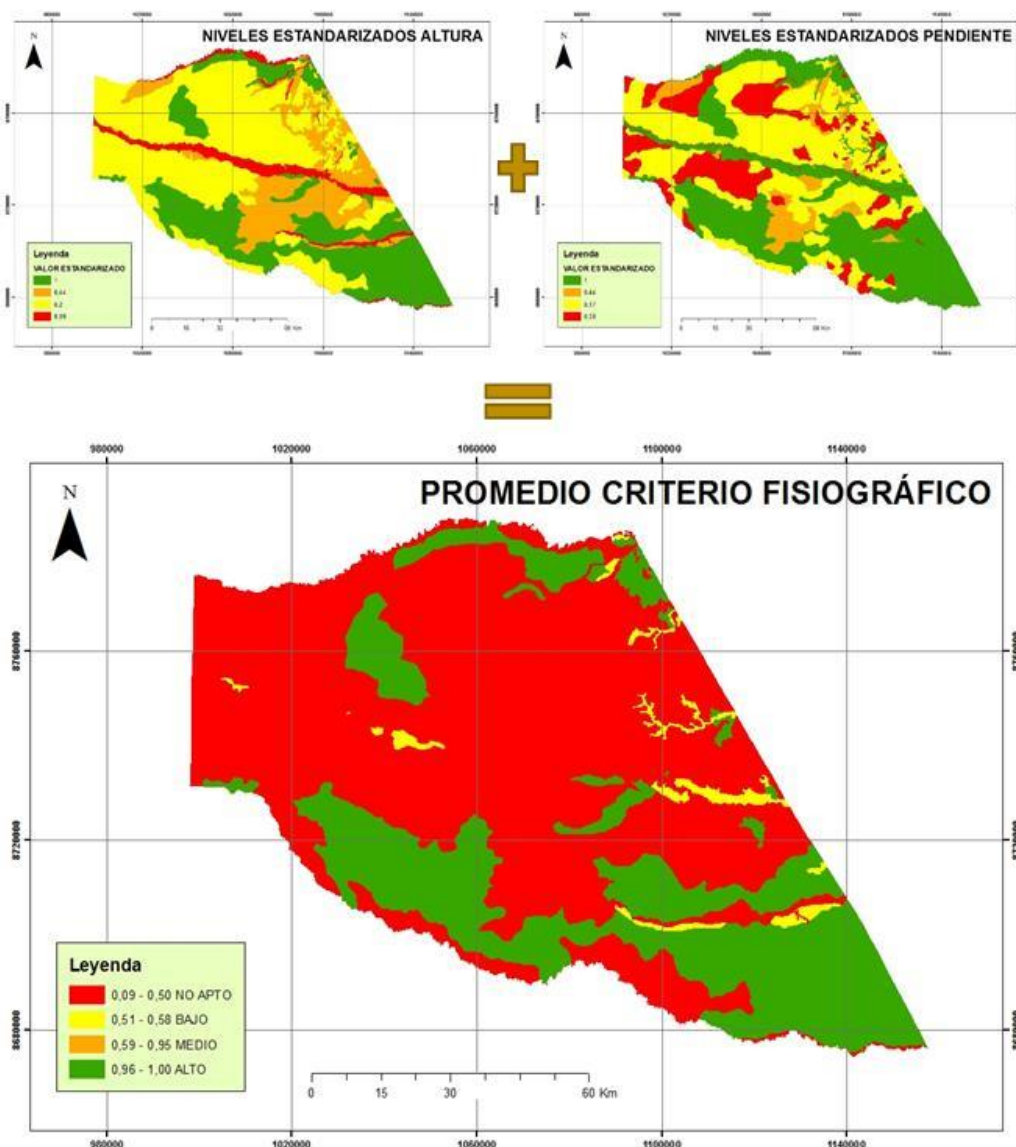


Figura 7. Mapa parcial del criterio Fisiográfico. Fuente: Tesista.

Finalmente se realizó la combinación lineal de pesos de los subcriterios de Altura y Pendiente:

$$\text{FISIOGRÁFICO} = 0,75 * (\text{ALTITUD}) + 0,25 * (\text{PENDIENTE})$$

Según el criterio fisiográfico tenemos que el 30% del área son zonas de aptitud alta; no se observa que hay zonas de aptitud media, las zonas de aptitud baja ocupan el 2% del área y finalmente las zonas de mayor extensión son zonas no aptas que cubren aproximadamente el 68% del área de estudio.

- **CRITERIO CLIMÁTICO**

Para obtener el mapa parcial de aptitud para crecimiento de Castaña según el criterio Climático se hizo la combinación lineal de los pesos de los mapas estandarizados del subcriterio Temperatura media y subcriterio Precipitación pluvial.

- **SUBCRITERIO TEMPERATURA MEDIA**

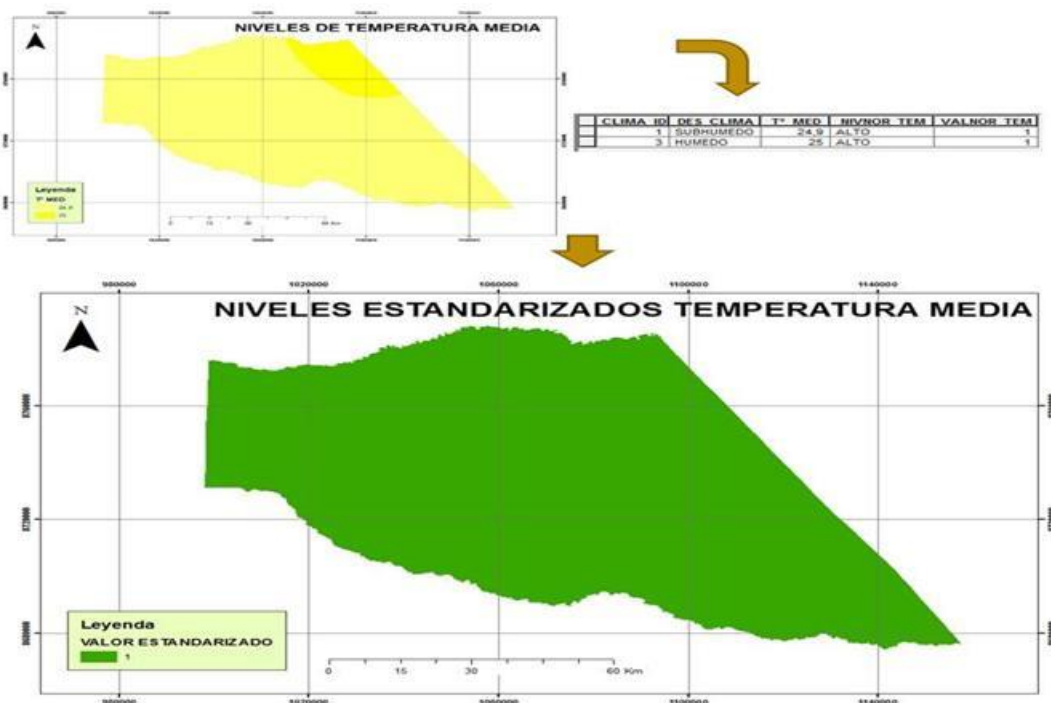


Figura 8. Obtención del mapa parcial con valores estandarizados del sub criterio Temperatura media. Fuente: Tesista.

Como podemos observar según el mapa estandarizado del subcriterio temperatura media, toda el área de estudio son zonas de aptitud alta.

- SUBCRITERIO PRECIPITACIÓN PLUVIAL

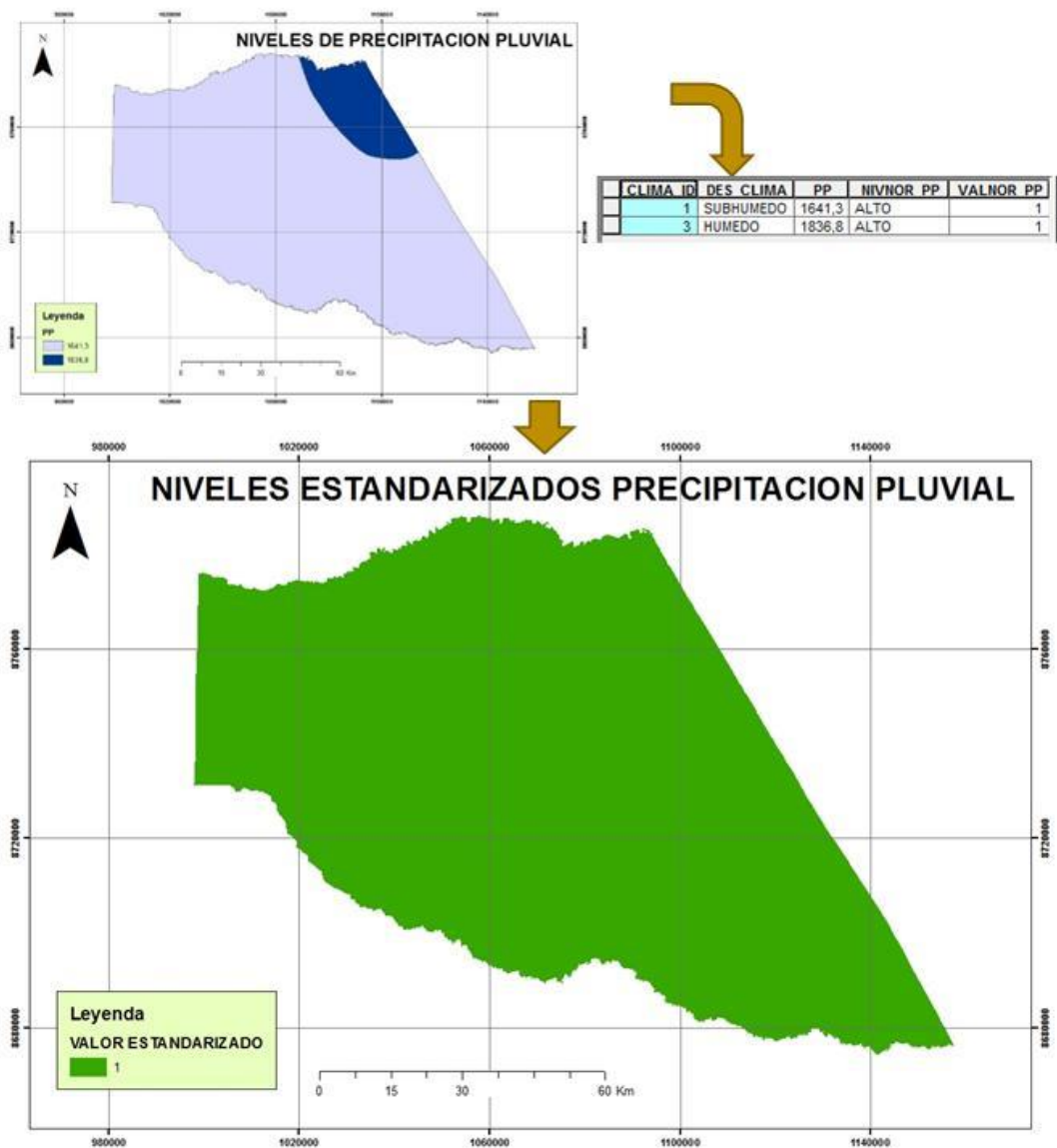


Figura 9. Obtención del mapa parcial con valores estandarizados del sub criterio Precipitación pluvial. Fuente: Tesista.

Como podemos observar según el mapa estandarizado del subcriterio precipitación pluvial también toda el área de estudio son zonas de aptitud alta.

- MAPA PARCIAL CRITERIO CLIMÁTICO

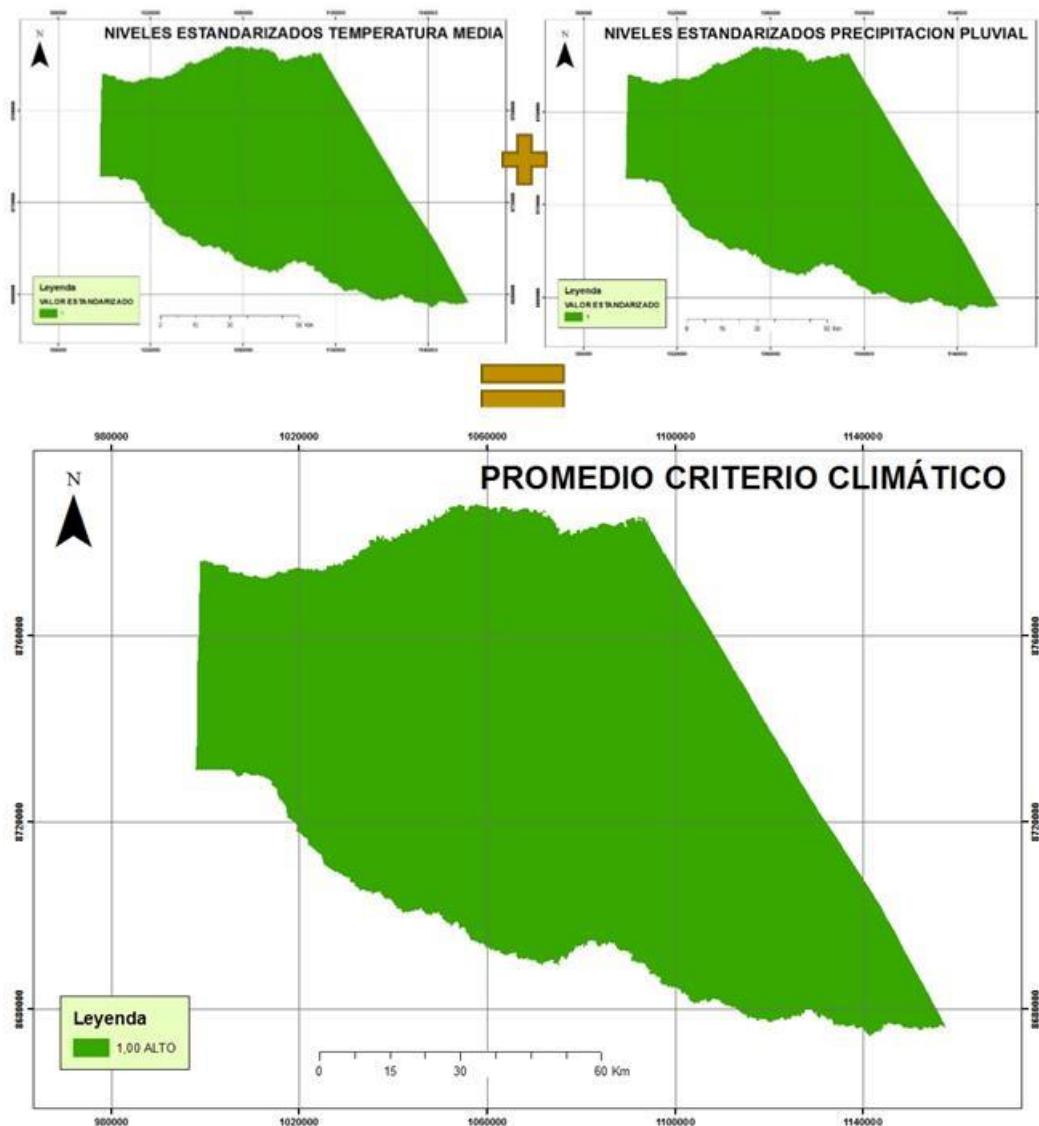


Figura 10. Mapa parcial del criterio Climático. Fuente: Tesista.

Finalmente se realizó la combinación lineal de pesos de los subcriterios de Temperatura media y Precipitación pluvial:

$$\text{CLIMÁTICO} = 0,25 * (\text{TEMPERATURA MEDIA}) + 0,75 * (\text{PRECIPITACIÓN PLUVIAL})$$

Por ende la unión de estos los subcriterios para obtener el mapa parcial del criterio clima tuvieron como resultado que todo el área de estudio deberían ser zonas de aptitud alta.

- **CRITERIO HÍDRICO**

Para obtener el mapa parcial de aptitud para crecimiento de Castaña según el criterio Hídrico se hizo la combinación lineal de los pesos de los mapas estandarizados del subcriterio Déficit hídrico y subcriterio Exceso hídrico.

- **SUBCRITERIO DÉFICIT HÍDRICO**

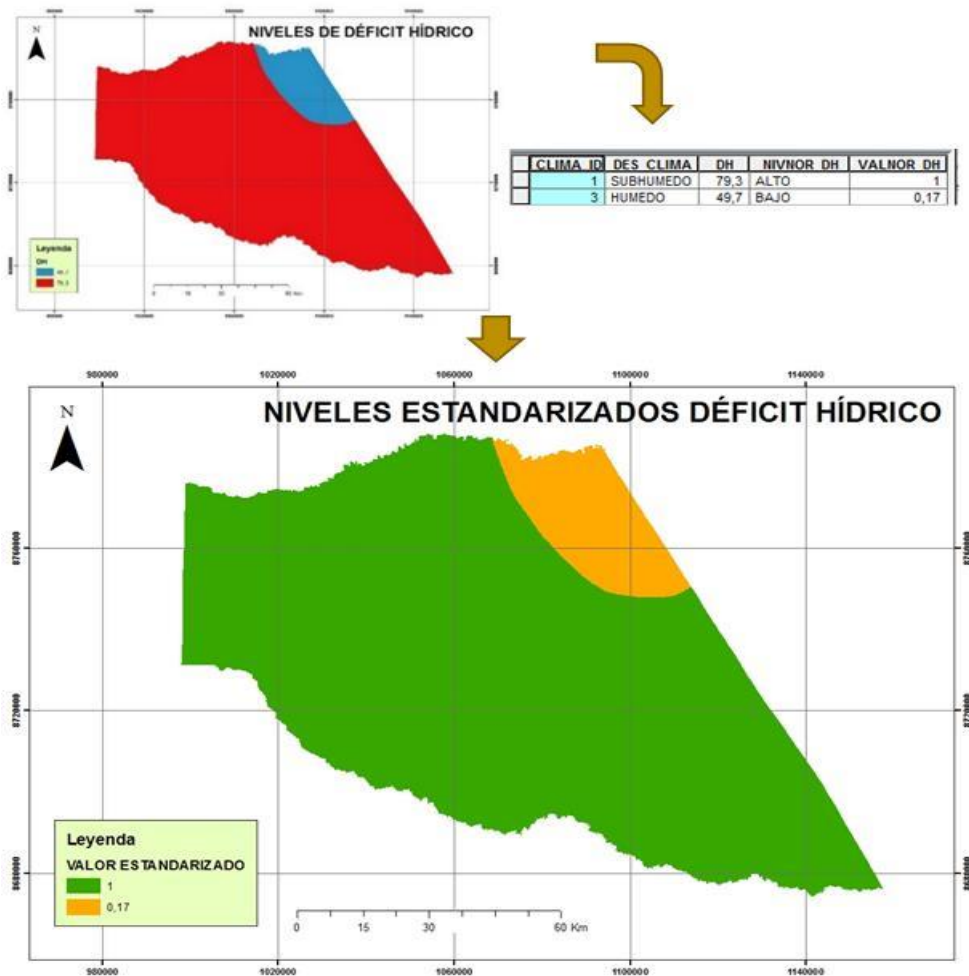


Figura 11. Obtención del mapa parcial con valores estandarizados del sub criterio Déficit hídrico.
Fuente: Tesista.

Como podemos observar según el mapa estandarizado del subcriterio Déficit hídrico, las zonas que predominan son las de aptitud alta, ocupando el 91% y las zonas de aptitud media ocupando un 9% del área de estudio.

- SUBCRITERIO EXCESO HÍDRICO

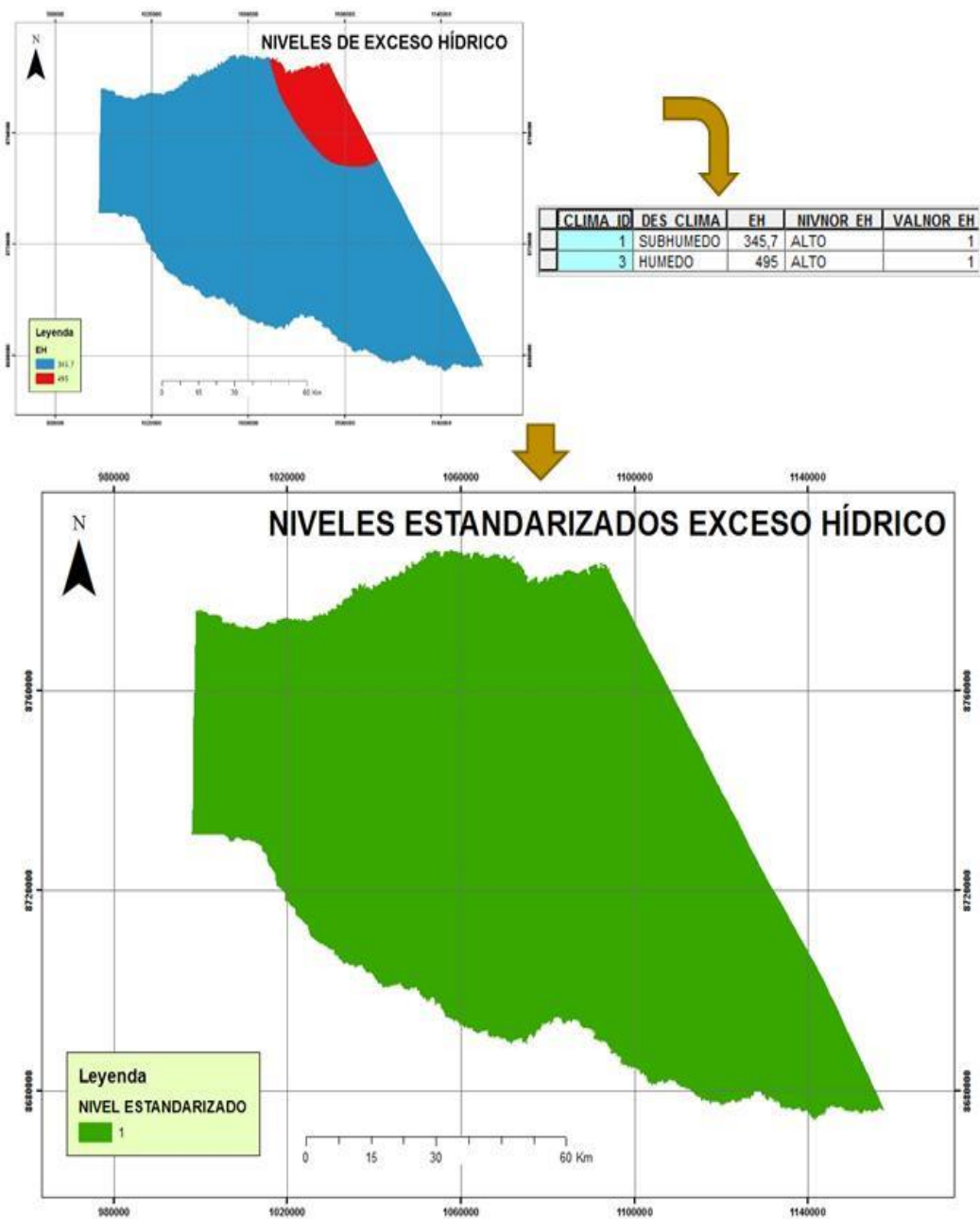


Figura 12. Obtención del mapa parcial con valores estandarizados del sub criterio Exceso hídrico. Fuente Tesista.

Como podemos observar según el mapa estandarizado del subcriterio Exceso hídrico, toda el área de estudio son zonas de aptitud alta.

- MAPA PARCIAL CRITERIO HÍDRICO

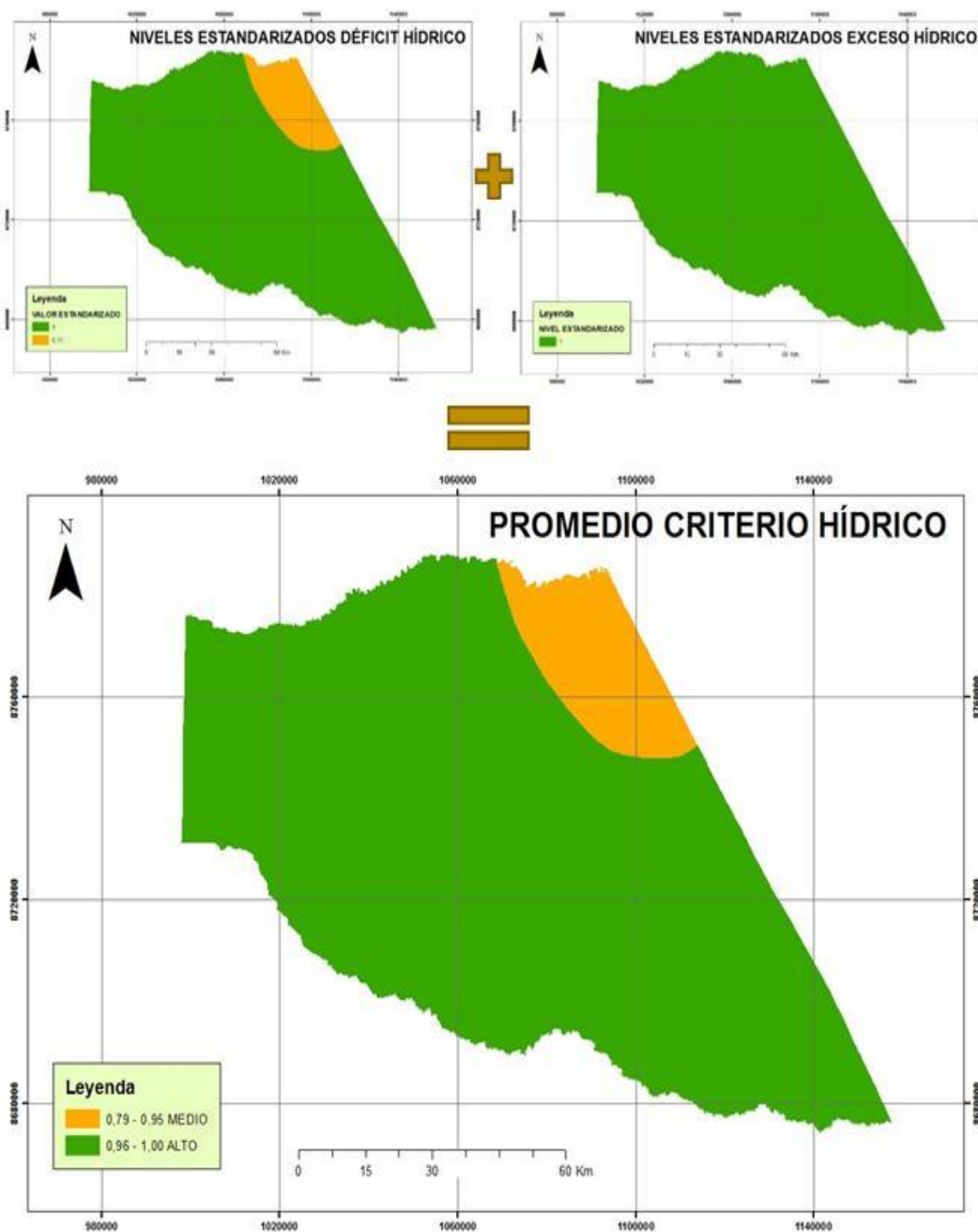


Figura 13. Mapa parcial del criterio Hídrico. Fuente: Tesista.

Finalmente se realizó la combinación lineal de pesos de los subcriterios de Exceso y Déficit hídrico.

$$\text{CLIMÁTICO} = 0,25 * (\text{DÉFICIT HÍDRICO}) + 0,75 * (\text{EXCESO HÍDRICO})$$

La unión de estos los subcriterios para obtener el mapa parcial del criterio Hídrico tuvo como resultado que las zonas de aptitud alta ocupan el 91% del territorio y el 8% lo ocupan las zonas de aptitud media.

- **CRITERIO AGROLÓGICO**

Para obtener el mapa parcial del de criterio Agrológico se hizo la combinación lineal de los pesos de los mapas estandarizados del subcriterio Drenaje, subcriterio Materia orgánica, subcriterio pH, subcriterio Profundidad efectiva y subcriterio Textura.

- SUBCRITERIO DRENAJE

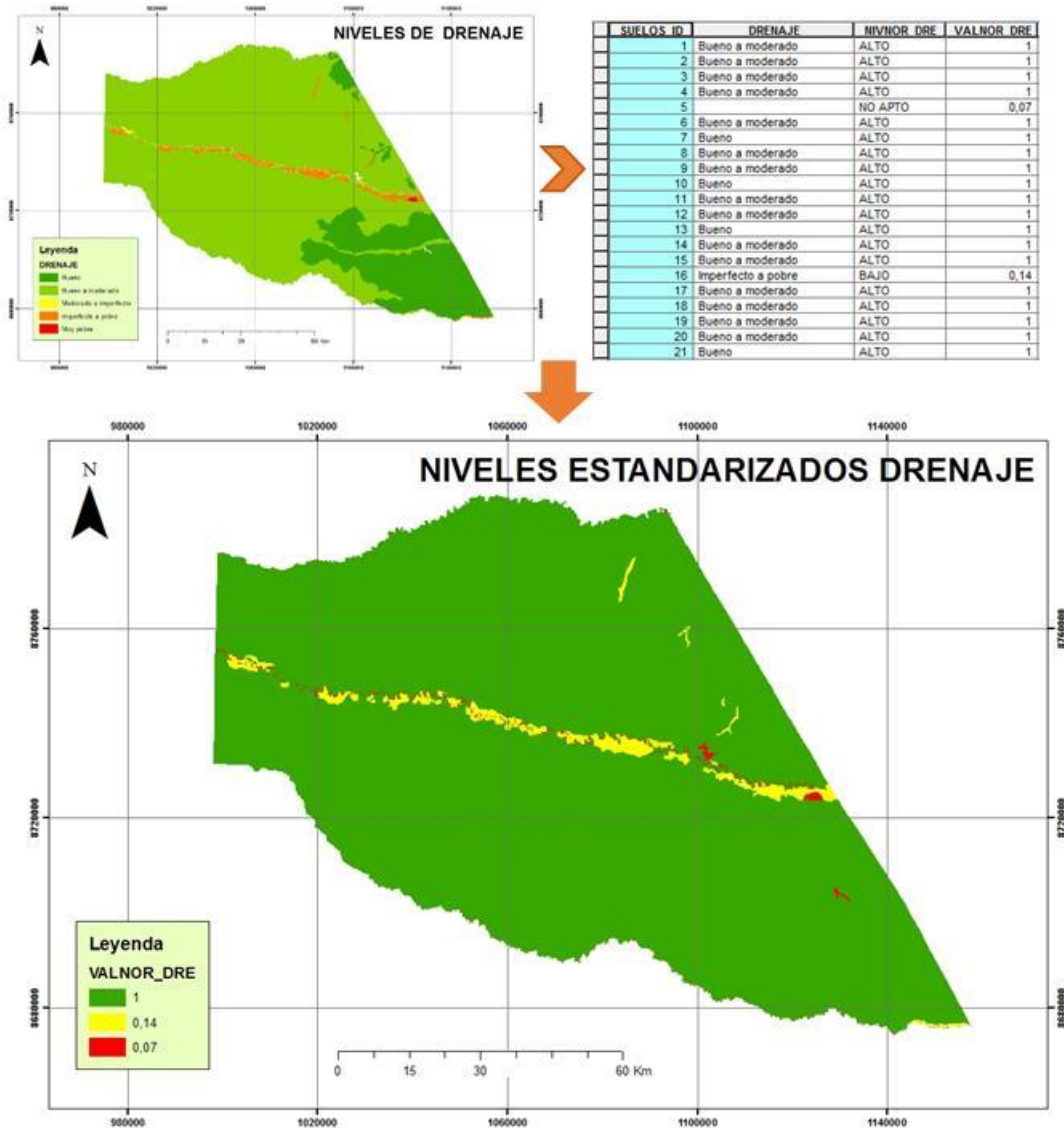


Figura 14. Obtención del mapa parcial con valores estandarizados del sub criterio Drenaje. Fuente: Tesista.

En la figura 14 se muestra el resultado de la estandarización del subcriterio Drenaje plasmados en el mapa, la zonas con aptitud alta ocupa casi toda el área de estudio y las zonas de aptitud baja se encuentran en los márgenes del río Tahuamanu y algunos vallecitos, mientras que las no aptas lo ocupan los ríos y los centros poblados.

- SUBCRITERIO MATERIA ORGÁNICA

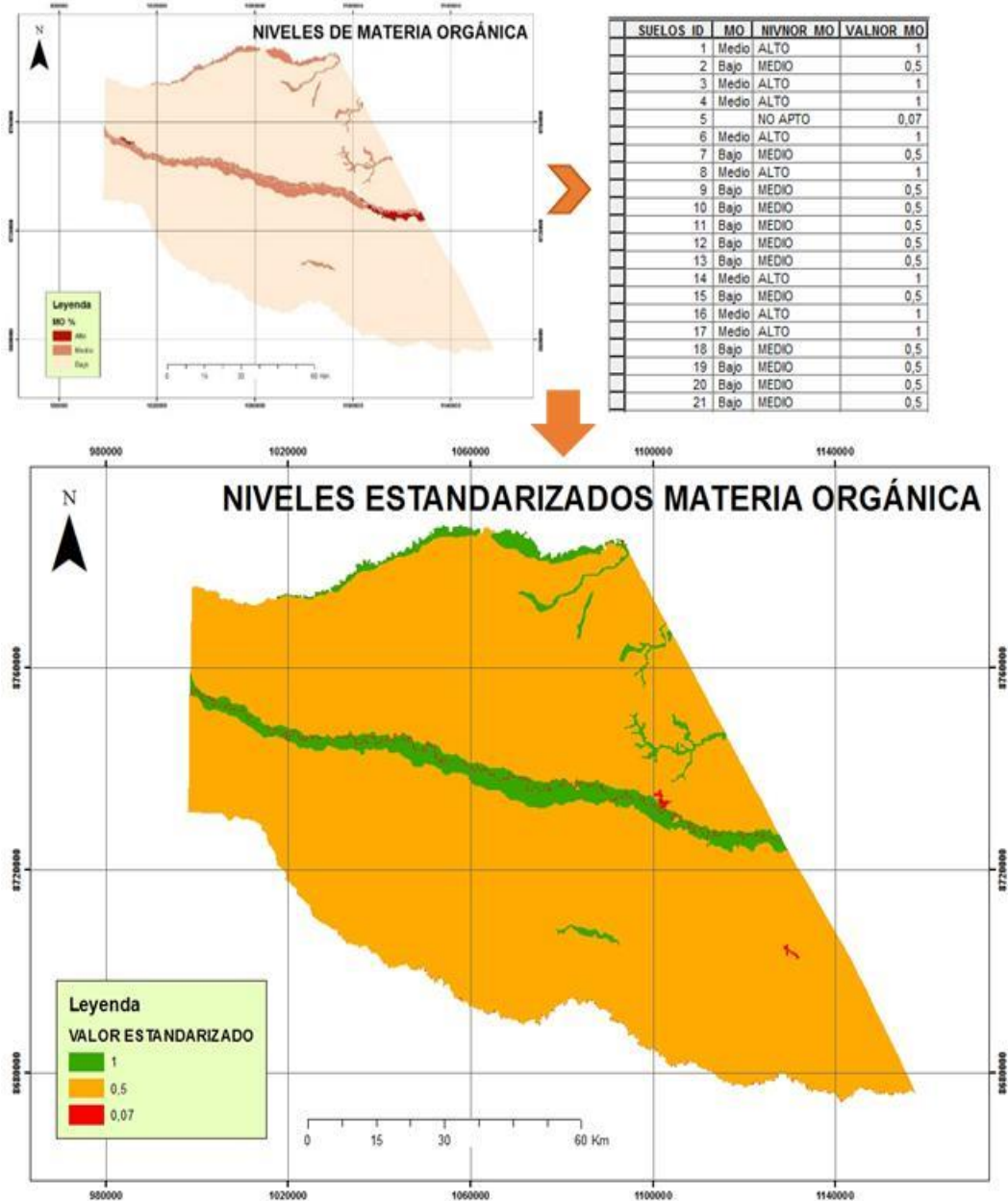


Figura 15. Obtención del mapa parcial con valores estandarizados del sub criterio Materia Orgánica.
Fuente: Tesista.

En la figura 15 se muestra el resultado de la estandarización del subcriterio Materia orgánica plasmados en el mapa, la zonas con aptitud alta se encuentra en los márgenes del río Tahuamanu, una pequeña parte en el norte, frontera con Brasil y en algunos vallecitos, las

zonas de aptitud media, se encuentran en mayor proporción en el área de estudio, las zonas no aptas están representadas por los ríos y centros poblados más significantes.

- SUBCRITERIO pH

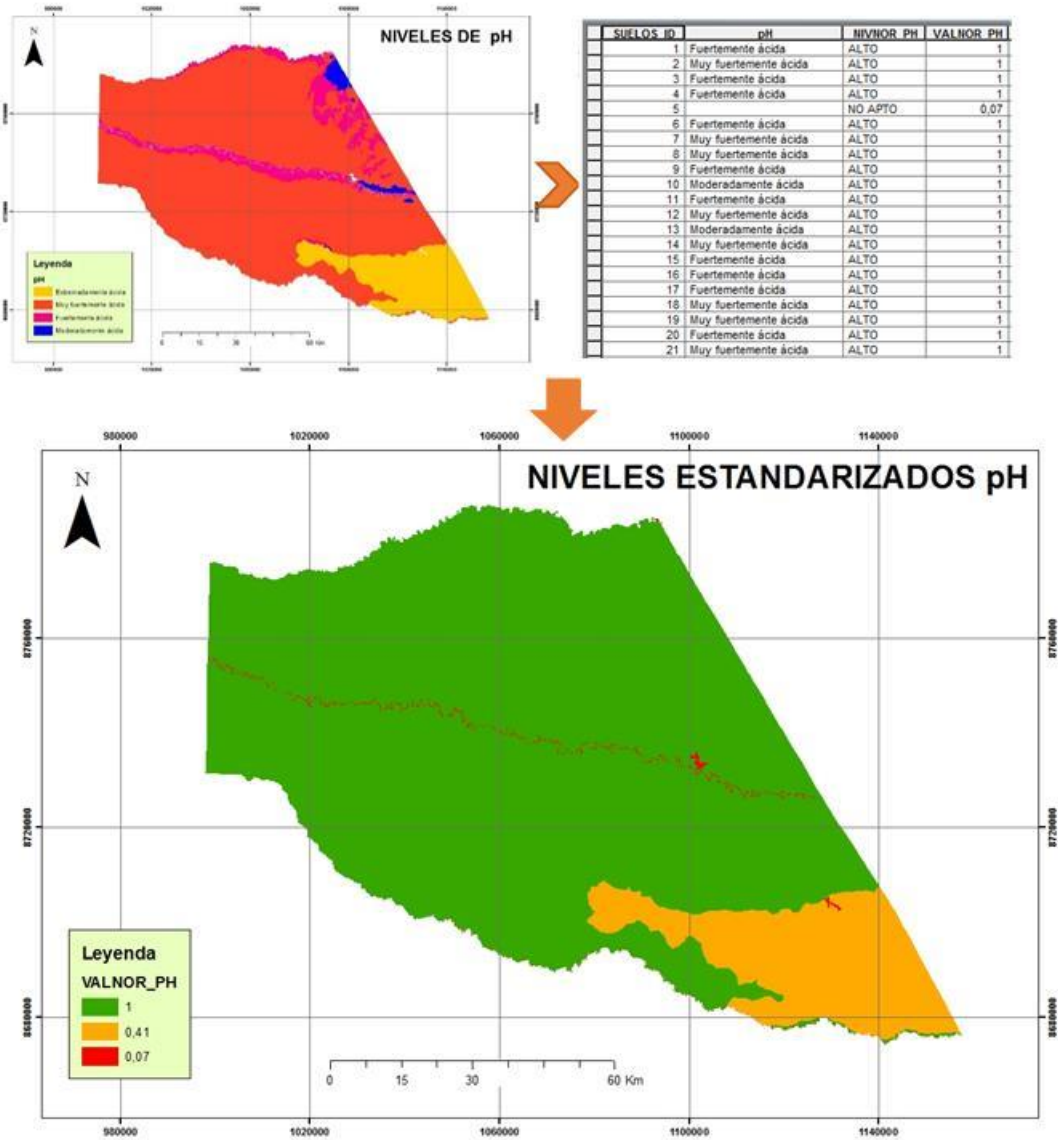


Figura 16. Obtención del mapa parcial con valores estandarizados del sub criterio PH. Fuente: Tesista.

En la figura 16 se muestra el resultado de la estandarización del subcriterio pH plasmados en el mapa, la zonas con aptitud alta se encuentra en gran proporción en casi todo el área

de estudio, las zonas de aptitud media se encuentra en la parte sur y las zonas no aptas la representan los ríos y los centros poblados más significantes.

- **SUBCRITERIO PROFUNDIDAD EFECTIVA**

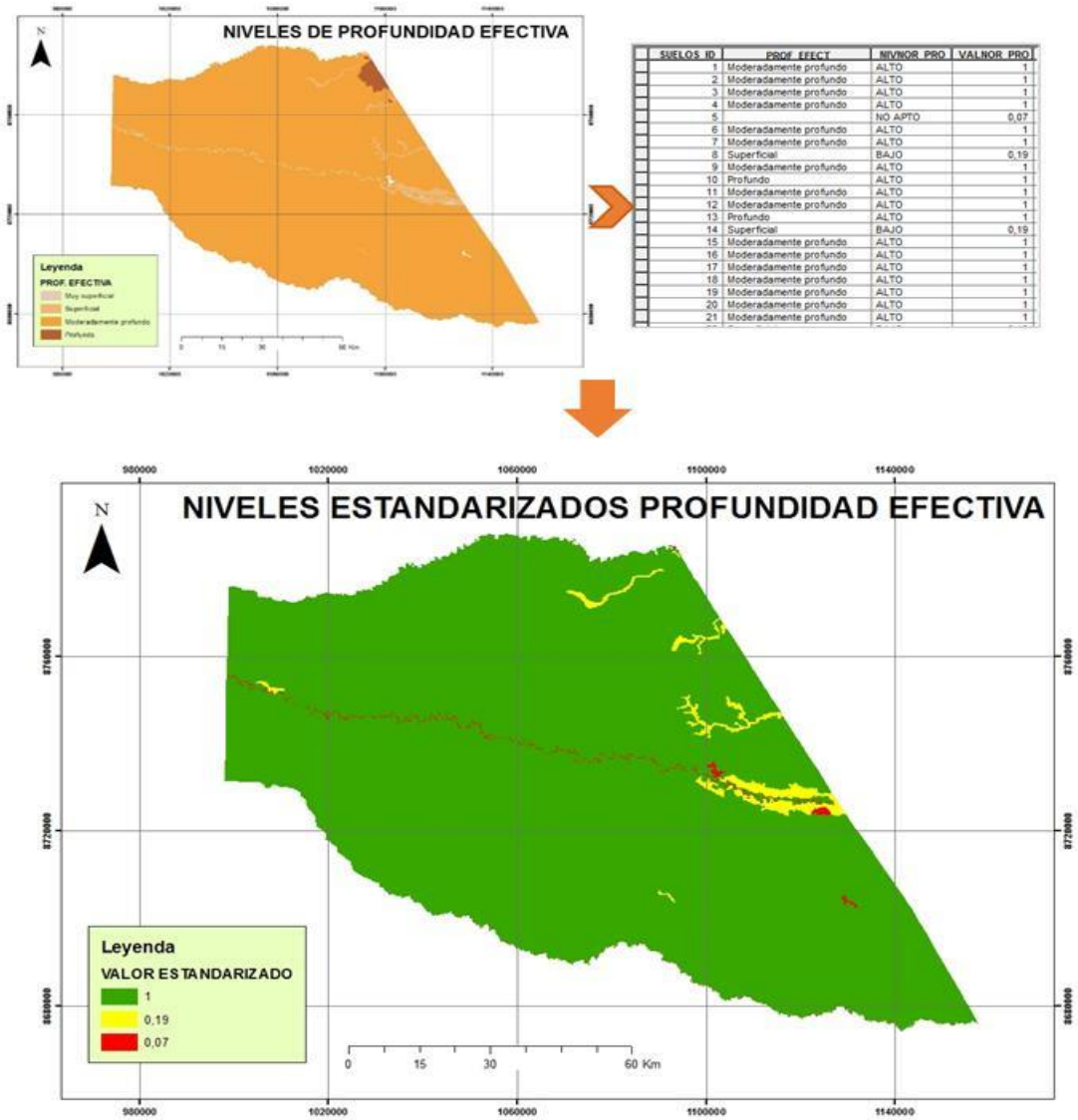


Figura 17. Obtención del mapa parcial con valores estandarizados del sub criterio Profundidad efectiva. Fuente: Tesista.

En la figura 17 se muestra el resultado de la estandarización del subcriterio Profundidad efectiva plasmadas en el mapa, la zonas con aptitud alta ocupan casi toda el área de estudio,

no se observan zonas con aptitud media, las zonas con aptitud baja se encuentran en algunas partes y ocupan pocas áreas y las zonas no aptas están representadas por los ríos y centros poblados más significantes.

- **SUBCRITERIO TEXTURA**

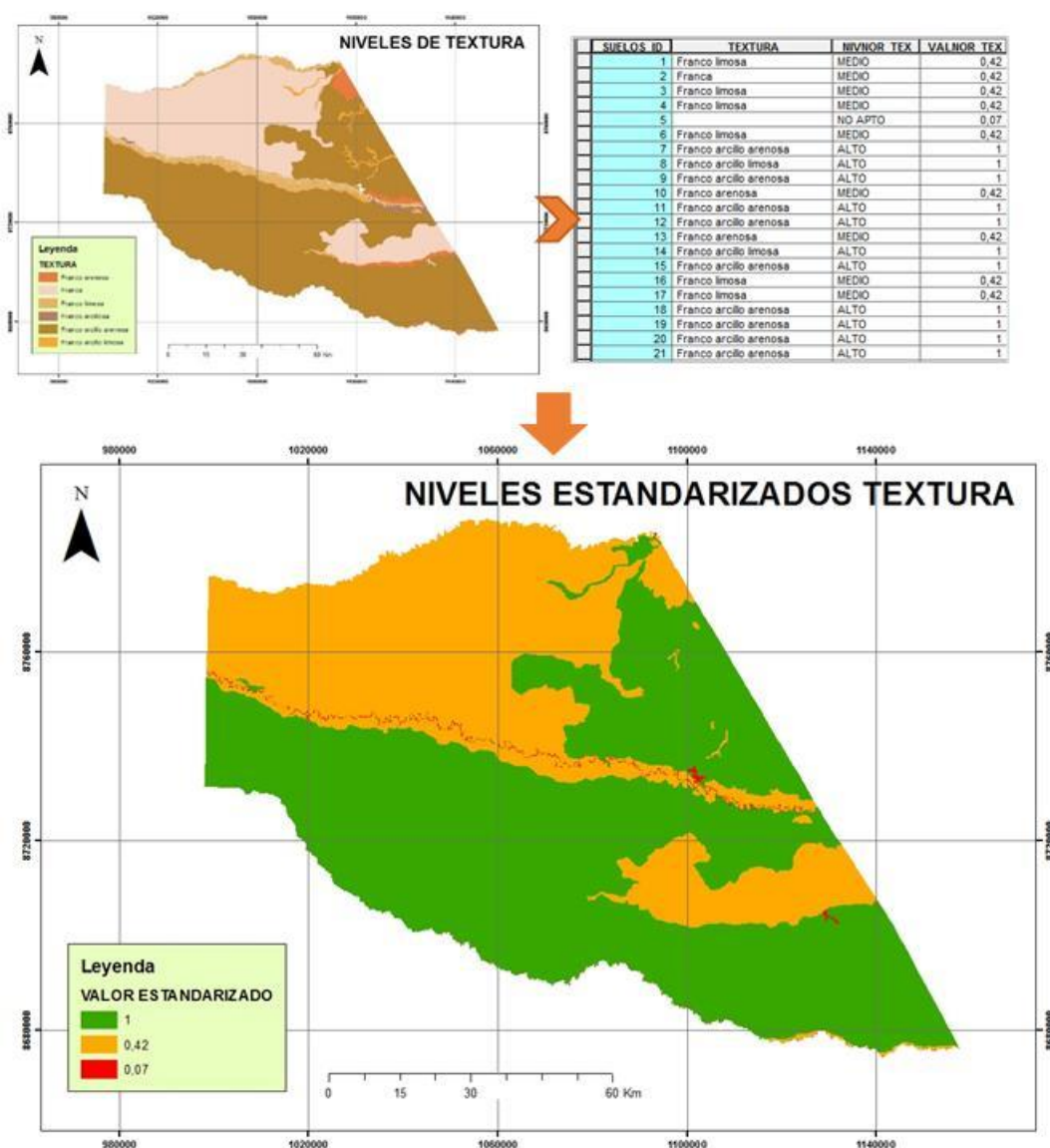


Figura 18. Obtención del mapa parcial con valores estandarizados del sub criterio Textura. Fuente: Tesista.

En la figura 18 se muestra el resultado de la estandarización del subcriterio Textura plasmados en el mapa, la zonas con aptitud alta y aptitud media están repartidas en igual proporción por toda el área de estudio y las zonas no aptas están representadas por los ríos y centros poblados más significantes.

- MAPA PARCIAL CRITERIO AGROLÓGICO

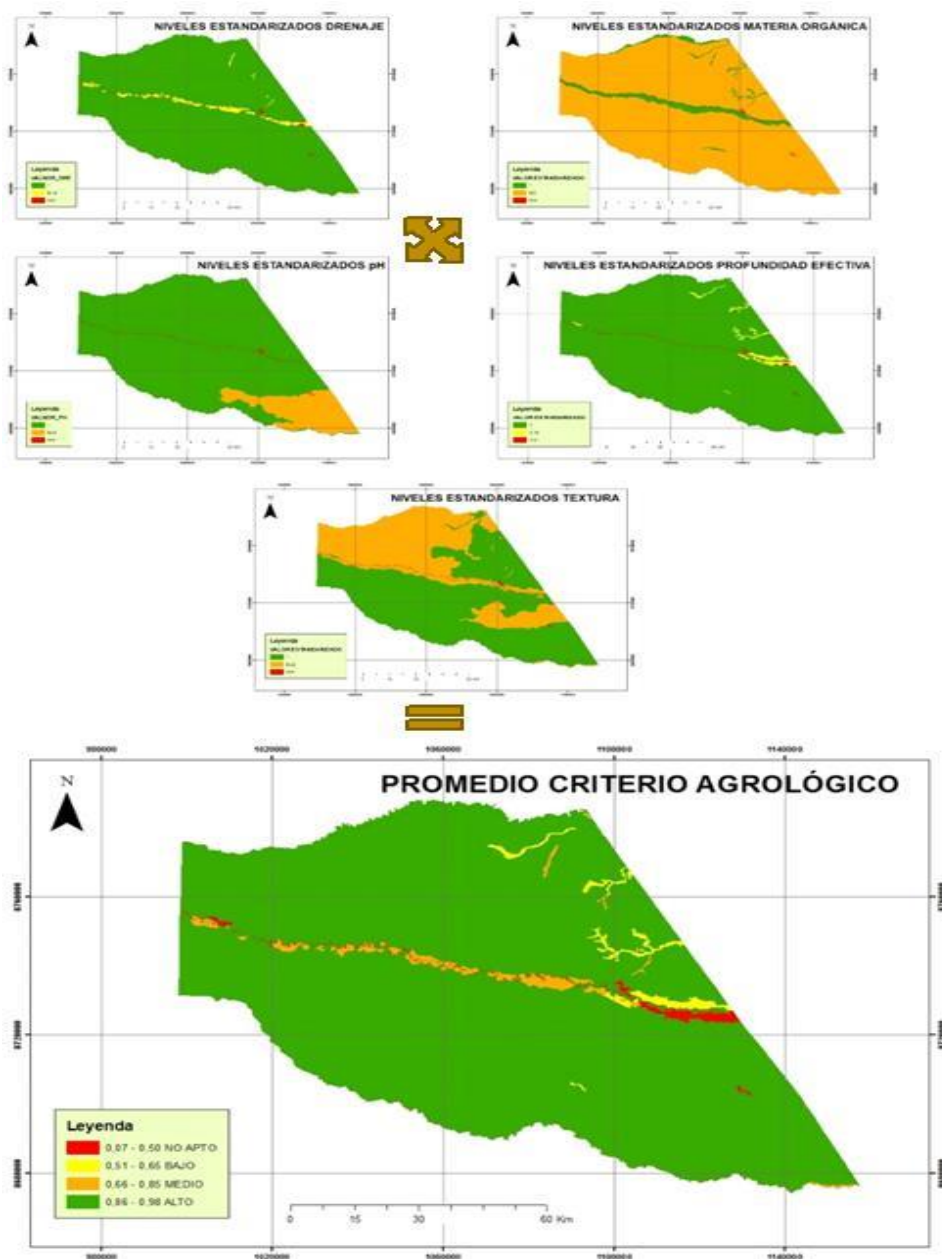


Figura 19. Mapa parcial del criterio Agrológico. Fuente: Tesista.

Finalmente se realizó la combinación lineal de pesos de los subcriterios de Textura, Profundidad efectiva, Drenaje, pH y Materia orgánica.

$$\text{AGROLÓGICO} = 0,16 * (\text{TEXTURA}) + 0,44 * (\text{PROFUNDIDAD EFECTIVA}) + 0,26 * (\text{DRENAJE}) + 0,09 * (\text{pH}) + 0,05 * (\text{MATERIA ORGÁNICA})$$

Según el criterio agrológico tenemos que el 96% del área son zonas de aptitud alta; las zonas de aptitud media ocupan el 2% del área, las zonas de aptitud baja y las zonas no aptas ocupan aproximadamente el 1% del área cada uno.

4.3 MAPA DE APTITUD

Para obtener el mapa de aptitud se realizó la combinación lineal de pesos de los criterios Fisiográfico, Climático, Hídrico y Agrológico:

$$\text{MAPA FINAL} = 0,55 * (\text{FISIOGRÁFICO}) + 0,25 * (\text{CLIMÁTICO}) + 0,13 * (\text{HÍDRICO}) + 0,08 * (\text{AGROLÓGICO})$$

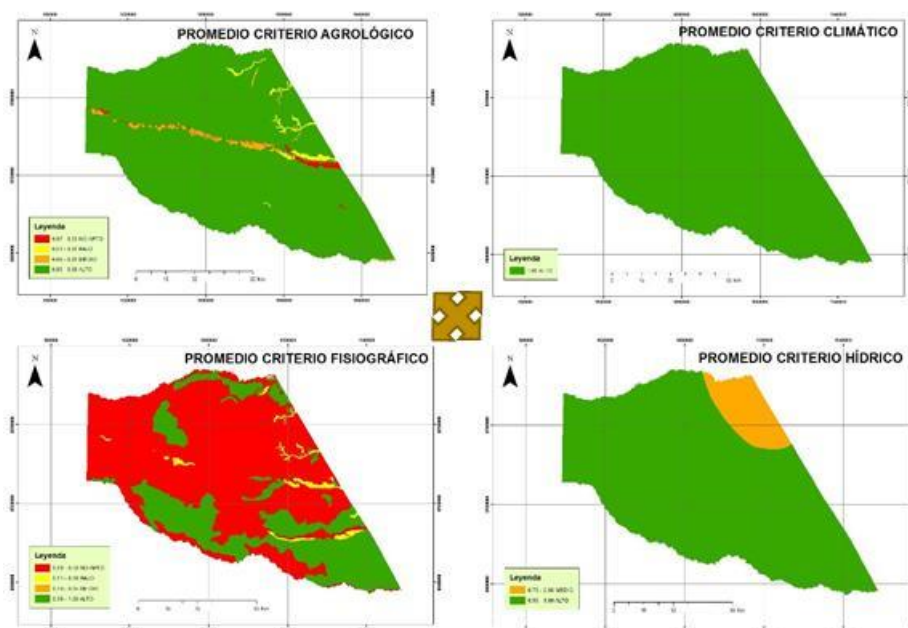


Figura 20. Unión de los mapas de criterios para la obtención del mapa final. Fuente: Tesista

Los intervalos obtenidos para el área factible fueron de 0.408 a 1.008. Para facilitar la interpretación de los datos, se clasificaron las áreas en cuatro posibilidades de aptitud:

Cuadro 13. Clasificación (valores) para obtener el mapa de aptitud para el crecimiento de Castaña (*Bertholletia excelsa*)

NIVEL DE APTITUD	VALORES
Alta	0.950 – 1.008
Media	0.650 – 0.950
Baja	0.500 – 0.650
No apta	0.000 – 0.500

Fuente: Tesista.

El mapa de aptitud generado para la zona de estudio, indica que hay 313 057.23 hectáreas de aptitud alta, representando el 29.8% del área de estudio; el 16.2% de la superficie total, son zonas de aptitud media, lo que equivale a 170 363.44 hectáreas; las zonas de aptitud baja abarca una superficie de 562 624.85 hectáreas ocupando el 53.5% de la zona de estudio y la superficie sin aptitud es de 4 415 hectáreas, lo que representa el 0.42% de la superficie total.

En el siguiente cuadro se muestra la distribución de las superficies por nivel de aptitud en la provincia de Tahuamanu:

Cuadro 14. Superficie ocupada por nivel de aptitud para el crecimiento de Castaña (*Bertholletia excelsa* HBK).

NIVEL	AREA (ha)	%
ALTO	313 057.2396	29.80%
MEDIO	170 363.4470	16.22%
BAJO	562 624.8593	53.56%
NO APTO	4 415.0497	0.42%
Total	1 050 460.5957	100%

Fuente: Tesista.

Las zonas con aptitud alta, predominan las terrazas altas, área natural de desarrollo de la castaña. Las zonas con aptitud media, predominan las terrazas media y algunas lomadas entre

cimas angostas y cimas alargadas. Las zonas con mayor superficie son aquellas calificadas con aptitud baja, que son terrenos que limitan el desarrollo de la castaña las cuales son generalmente colinas bajas, algunas lomadas de cimas angostas porque estos tienden a ser suelos superficiales y tener problemas de pendiente, vallecitos intercolinosos debido a que tienen problemas de drenaje y riesgo de inundación eventual, y terrazas bajas cercanos a ríos puesto que tienden a inundarse temporal o eventualmente. Las zonas consideradas no aptas, corresponden a los centros poblados más importantes y a los ríos más significantes que tiene la provincia.

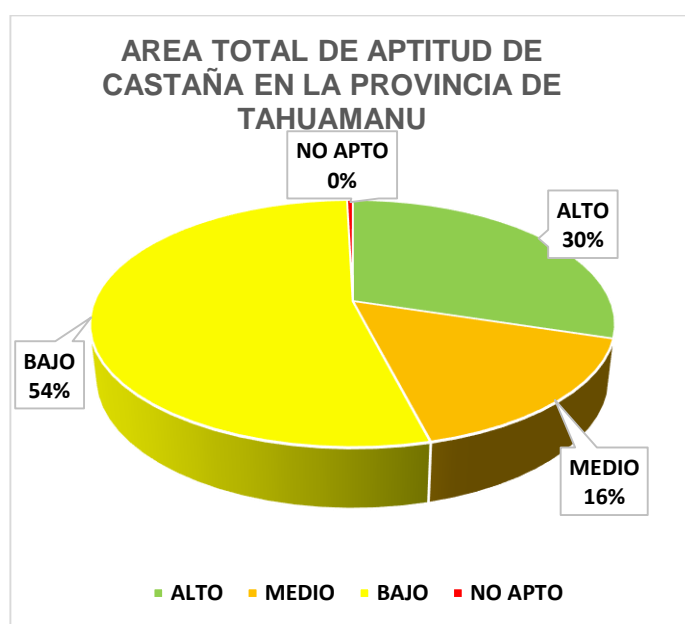


Figura 21. Porcentaje de área que ocupan las zonas de aptitud de Castaña en la provincia de Tahuamanu.

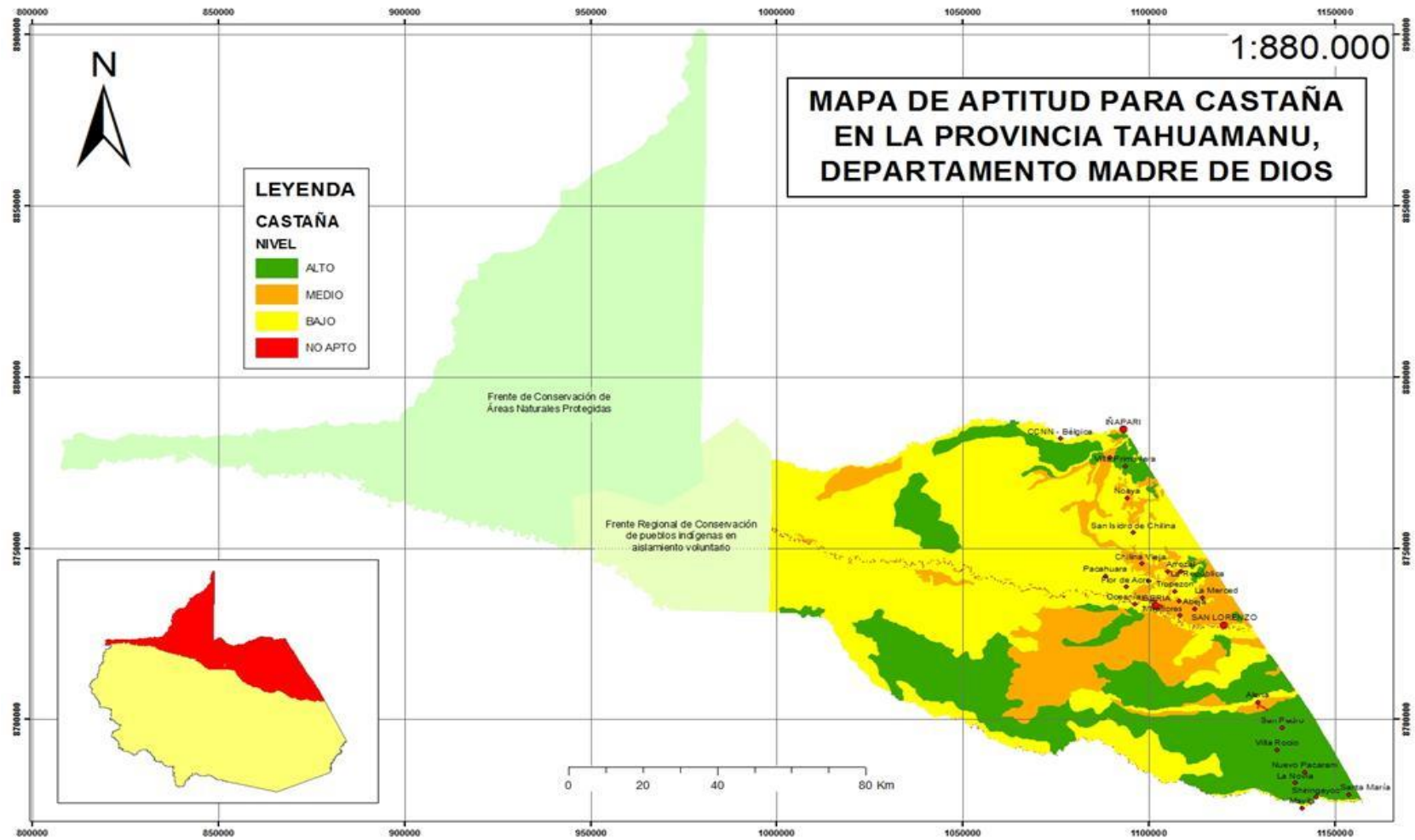


Figura 22. Mapa de zonas de aptitud para el crecimiento de Castaña en la provincia de Tahuamanu, Madre de Dios. Fuente: Tesista

CAPÍTULO V:

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Como se observó en los resultados, las zonas de aptitud alta son 313 057.2396 hectáreas que ocupa aproximadamente el 30% de la superficie de la provincia de Tahuamanu. Estas zonas principalmente, se encuentran en la parte sur y sureste de la provincia; entre los ríos Tahuamanu, Muymanu y Manu; y que en su mayoría coinciden con las concesiones castañeras que existen en dicho lugar.

- Este estudio confirma que la evaluación multicriterio, en este caso el AHP, es adecuada para evaluar la aptitud natural para Castaña *Bertolletia excelsa* HBK, integrando criterios como fisiografía, clima, balance hídrico y suelo en un ambiente SIG. La delimitación y clasificación de zonas aptas para el crecimiento de esta especie resultó ser útil y tener ventajas sobre otras técnicas de evaluación convencionales, ya que se obtiene información de las áreas con características similares a las óptimas, en donde la especie de interés puede tener buen desarrollo.

- El proceso Analítico Jerárquico en combinación con los SIG utilizados en este estudio, son herramientas útiles, pero la calidad de resultados depende en gran medida de la información cartográfica, la opinión de expertos y la información incorporada sobre los requerimientos de la especie, obtenidas de la revisión de la literatura.

5.2 RECOMENDACIONES

- De acuerdo a los resultados obtenidos, se recomienda a las zonas de aptitud alta, como aprovechamiento de Castaña y a las zonas de aptitud media, como zonas de conservación de la especie, ambas con un adecuado manejo y uso.
- Se recomienda que para la aplicación de este método, el investigador deberá recopilar información cartográfica y temática indispensable y de calidad, para obtener resultados más detallados.
- Además se sugiere, que se continúen con los estudios sobre aptitud de tierras para identificar zonas potenciales para el aprovechamiento y conservación de los recursos naturales en general.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- **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 Evaluación 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>.

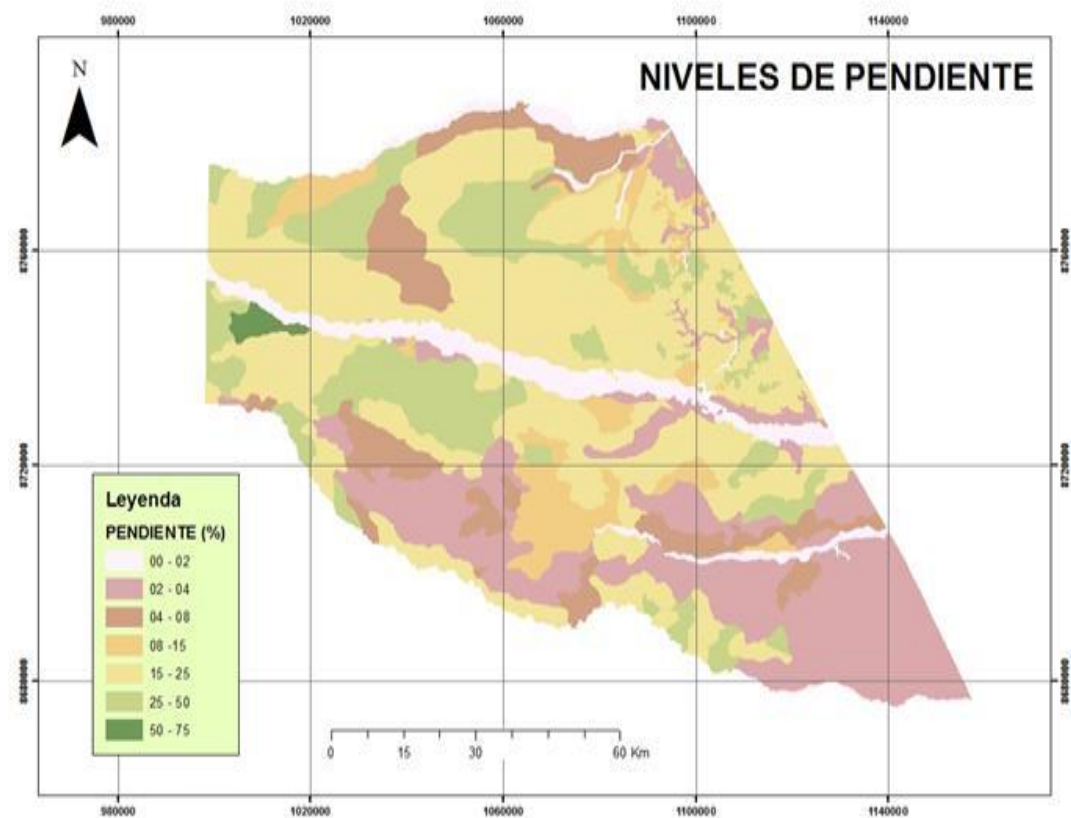
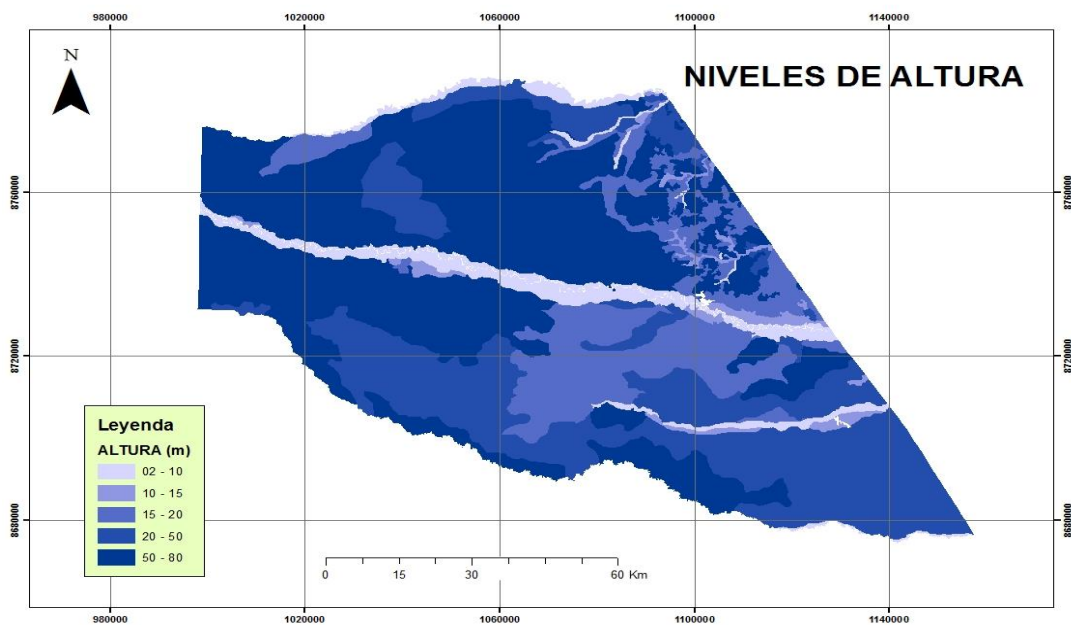
- **Corvera R., (2014).** Servicio para la integración de la Información del estado Actual de la diversidad Biológica y genética de la castaña (*Bertholletia excelsa*) en el Perú. Segundo Informe final.
- **Costa J., Castro A., Wandelli E., Coral S., Souza S. (2008).** Aspectos silviculturais da castanha 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.
- **GOREMAD (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 decisión 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. Grible 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 Emilio Goeldi. Ciências Naturais 6(3): 273 – 293.

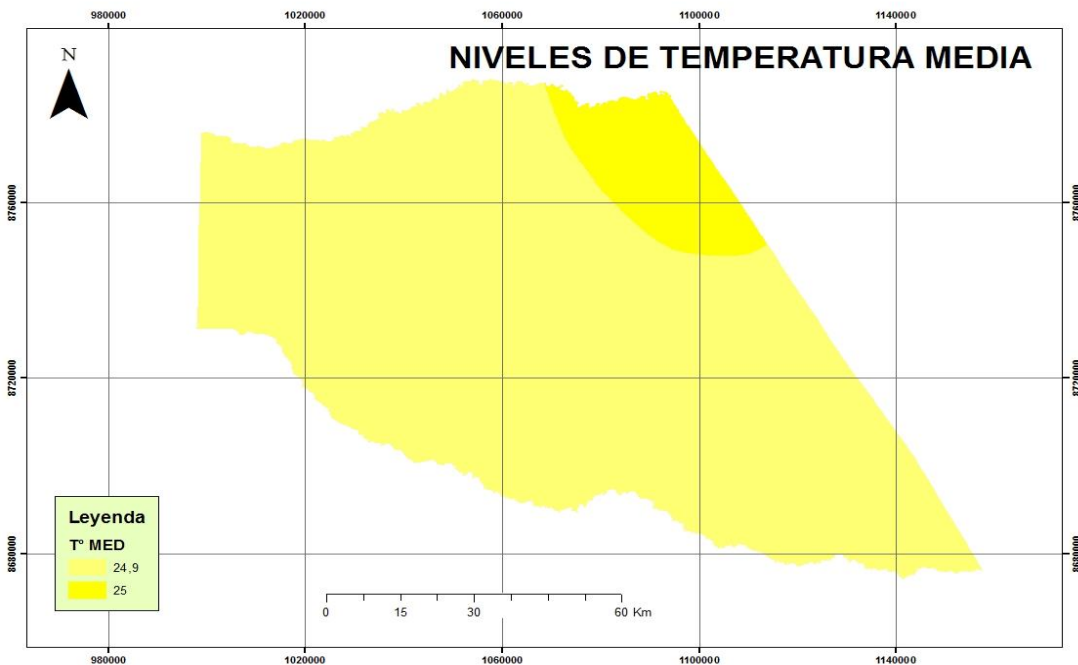
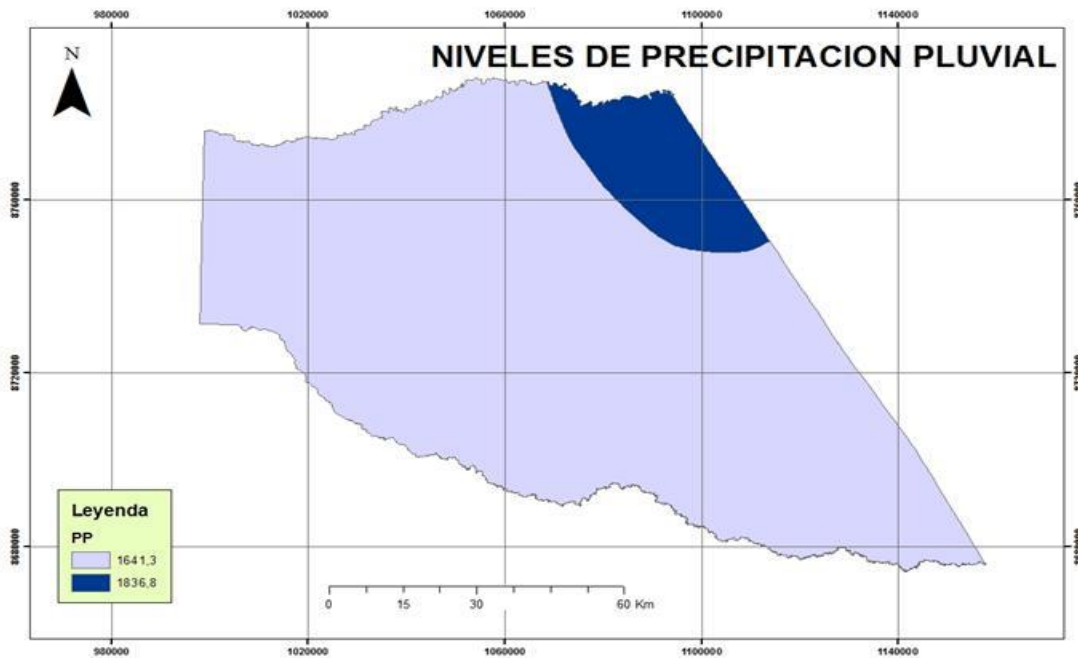
- **Scoles R, Canto MS, Almeida RG y Vieira DP (2015).** Sobrevivência e Frutificação de *Bertholletia excelsa* Bonpl. Em Áreas Desmatadas em Oriximiná, Pará. Floresta e Ambiente. Universidade Federal do Oeste do Pará – UFOPA. Centro de Formação Interdisciplinar. ISSN: 2179 - 8087.
- **Sotelo E, Cruz 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.

A N E X O S

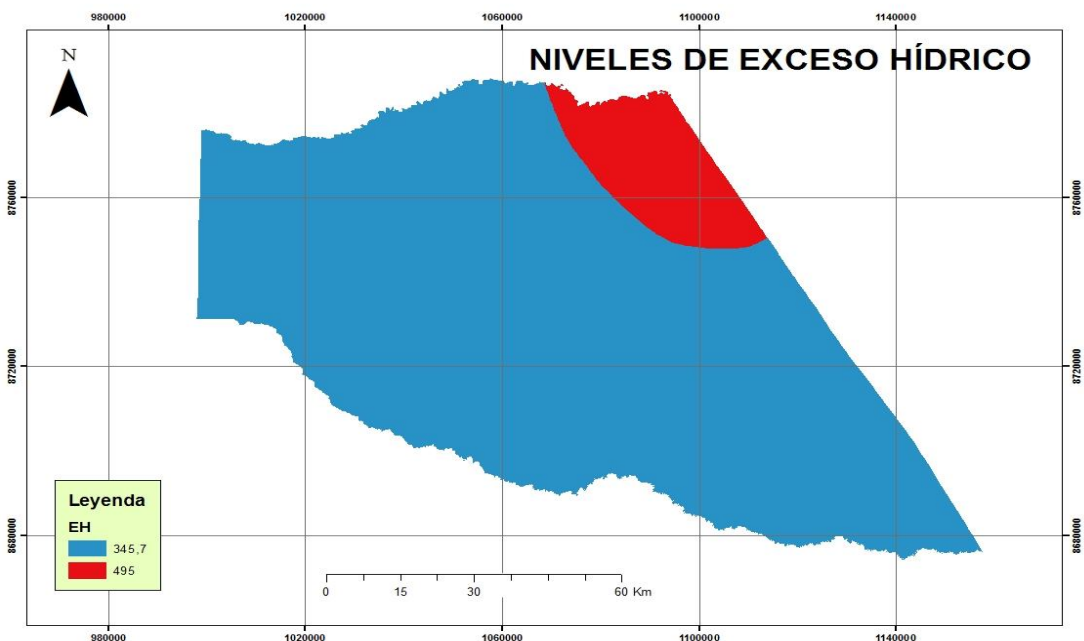
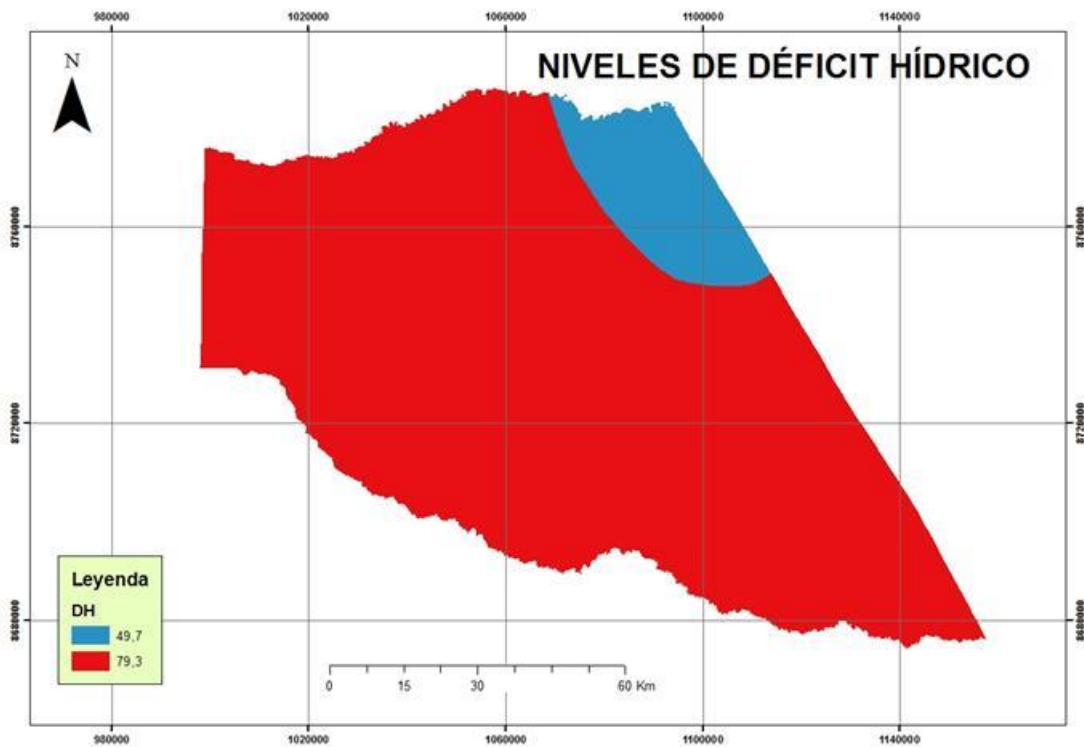
Anexo N° 01. Capas de información temática cartográfica de Fisiografía.



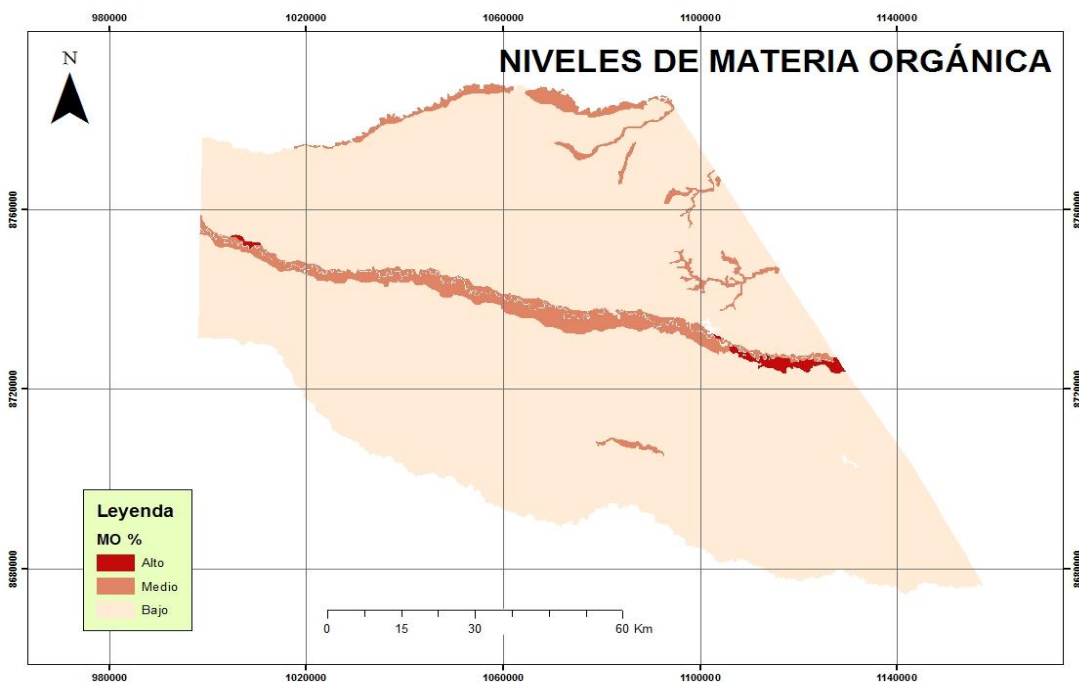
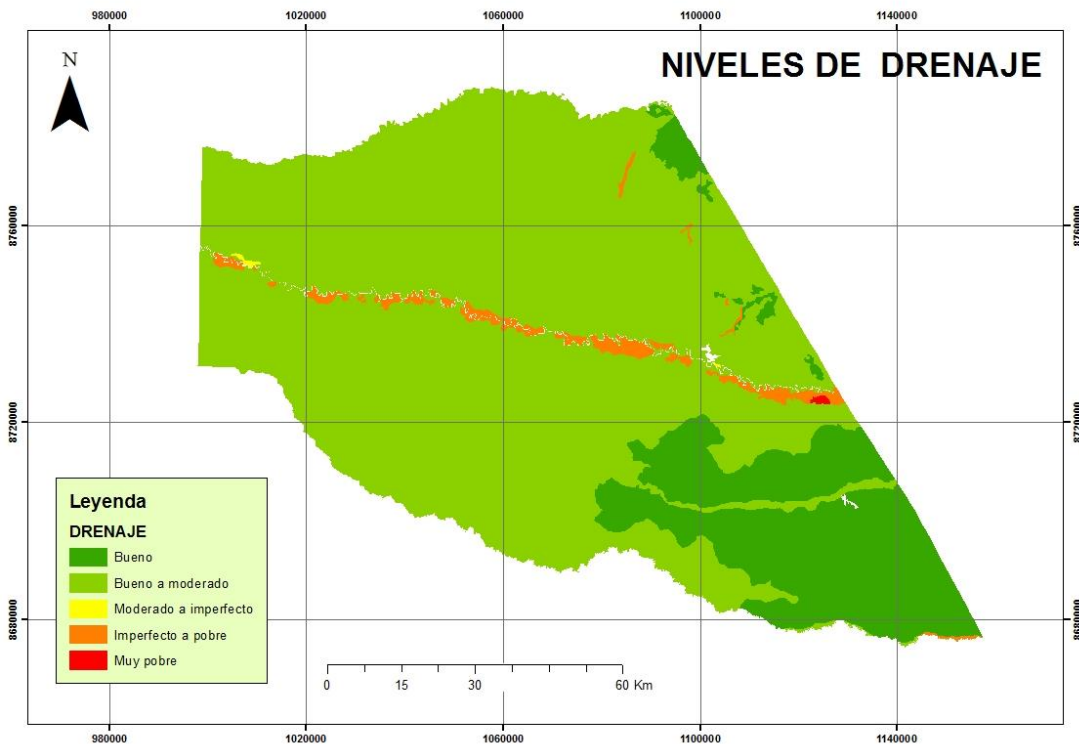
Anexo N° 02. Capas de información temática cartográfica de Clima

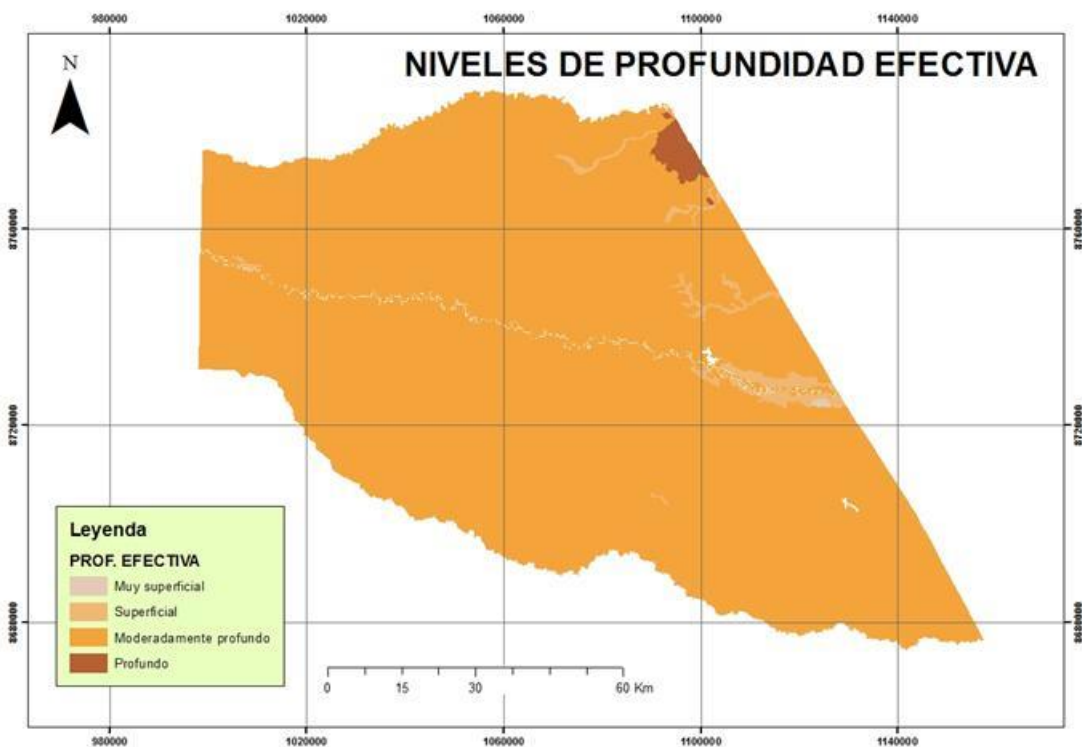
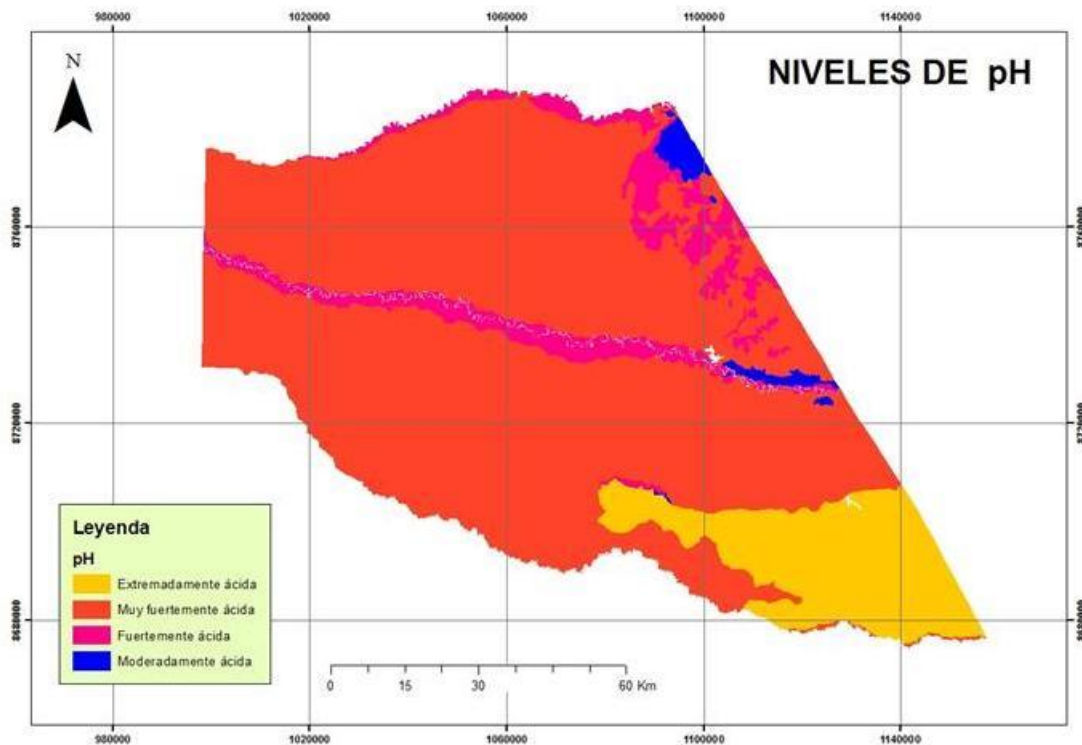


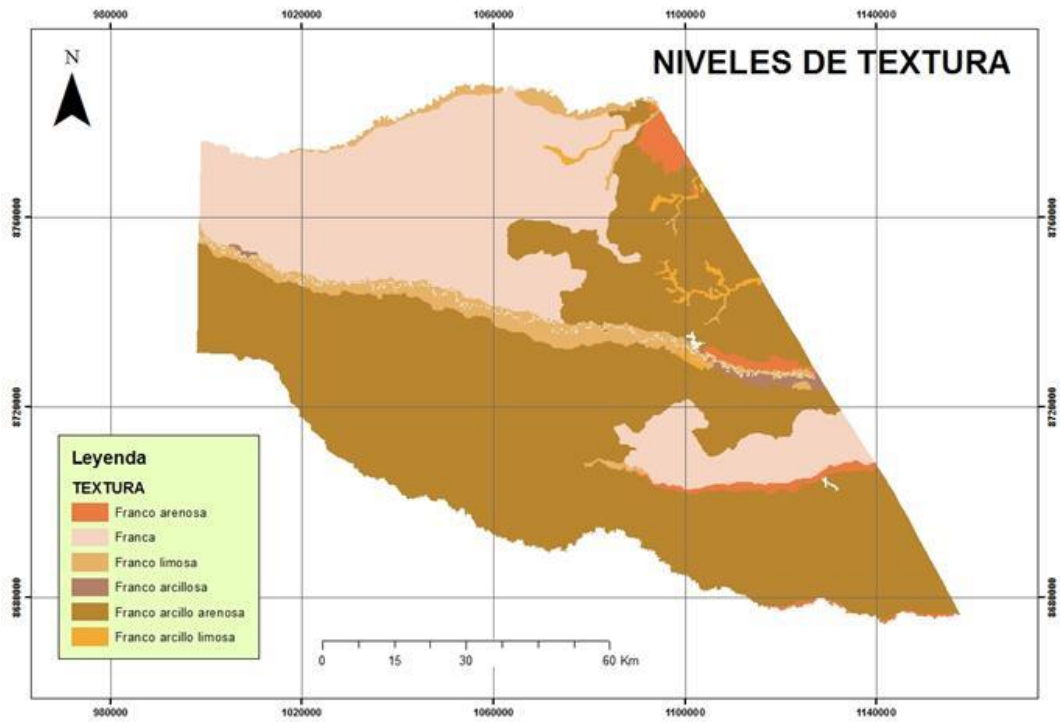
Anexo N° 03. Capas de información temática cartográfica de Balance Hídrico



Anexo N° 04. Capas de información temática cartográfica de Suelos







Anexo N° 05. Matriz de comparación pareada, estandarización y ponderación de subcriterios. Fuente Tesista

PENDIENTE	ALTO	MEDIO	BAJO	NA	NORMALIZACIÓN				PESO	VALOR ESTANDARIZADO
ALTO	1	3	7	9	0.63	0.67	0.62	0.45	0.59	1.00
MEDIO	0.33	1	3	7	0.21	0.22	0.26	0.35	0.26	0.44
BAJO	0.14	0.33	1	3	0.09	0.07	0.09	0.15	0.10	0.17
NO APTO	0.11	0.14	0.33	1	0.07	0.03	0.03	0.05	0.05	0.08
	1.59	4.48	11.33	20.00					1.00	

ALTITUD	ALTO	MEDIO	BAJO	NA	NORMALIZACIÓN				PESO	VALOR ESTANDARIZADO
ALTO	1	3	5	9	0.6	0.66	0.54	0.5	0.58	1.00
MEDIO	0.33	1	3	5	0.2	0.22	0.32	0.3	0.26	0.44
BAJO	0.20	0.33	1	3	0.1	0.07	0.11	0.2	0.12	0.20
NO APTO	0.11	0.20	0.33	1	0.1	0.04	0.04	0.1	0.05	0.09
	1.64	4.53	9.33	18.00					1.00	

PRECIPITACION	ALTO	MEDIO	BAJO	NA	NORMALIZACIÓN				PESO	VALOR ESTANDARIZADO
ALTO	1	3	5	9	0.6	0.69	0.45	0.4	0.54	1.00
MEDIO	0.33	1	5	7	0.2	0.23	0.45	0.3	0.30	0.56
BAJO	0.20	0.20	1	5	0.1	0.05	0.09	0.2	0.12	0.22
NO APTO	0.11	0.14	0.20	1	0.1	0.03	0.02	0	0.04	0.08
	1.64	4.34	11.20	22.00					1.00	

TEMPERATURA MEDIA	ALTO	MEDIO	BAJO	NA	NORMALIZACIÓN				PESO	VALOR ESTANDARIZADO
ALTO	1	5	7	9	0.7	0.79	0.53	0.4	0.60	1.00
MEDIO	0.20	1	5	7	0.1	0.16	0.38	0.3	0.25	0.41
BAJO	0.14	0.20	1	5	0.1	0.03	0.08	0.2	0.11	0.18
NO APTO	0.11	0.14	0.20	1	0.1	0.02	0.02	0	0.04	0.07
	1.45	6.34	13.20	22.00					1.00	

BHE	ALTO	MEDIO	BAJO	NA	NORMALIZACIÓN				PESO	VALOR ESTANDARIZADO
ALTO	1	3	7	9	0.6	0.69	0.53	0.4	0.57	1.00
MEDIO	0.33	1	5	7	0.2	0.23	0.38	0.3	0.28	0.50
BAJO	0.14	0.20	1	5	0.1	0.05	0.08	0.2	0.11	0.19
NO APTO	0.11	0.14	0.20	1	0.1	0.03	0.02	0	0.04	0.07
	1.59	4.34	13.20	22.00					1.00	

BHD	ALTO	MEDIO	BAJO	NA	ESTANDARIZACION				PESO	VALOR ESTANDARIZADO
ALTO	1	5	7	9	0.7	0.79	0.53	0.4	0.60	1.00
MEDIO	0.20	1	5	9	0.1	0.16	0.38	0.4	0.26	0.44
BAJO	0.14	0.20	1	5	0.1	0.03	0.08	0.2	0.10	0.17
NO APTO	0.11	0.11	0.20	1	0.1	0.02	0.02	0	0.04	0.06
	1.45	6.31	13.20	24.00					1.00	

TEXTURA	ALTO	MEDIO	BAJO	NA	NORMALIZACIÓN				PESO	VALOR ESTANDARIZADO
ALTO	1	5	7	9	0.7	0.79	0.53	0.5	0.61	1.00
MEDIO	0.20	1	5	7	0.1	0.16	0.38	0.4	0.26	0.42
BAJO	0.14	0.20	1	3	0.1	0.03	0.08	0.2	0.09	0.14
NO APTO	0.11	0.14	0.33	1	0.1	0.02	0.03	0.1	0.04	0.07
	1.45	6.34	13.33	20.00					1.00	

PROFUNDIDAD	ALTO	MEDIO	BAJO	NA	NORMALIZACIÓN				PESO	VALOR ESTANDARIZADO
ALTO	1	3	7	9	0.6	0.7	0.53	0.4	0.56	1.00
MEDIO	0.33	1	5	9	0.2	0.23	0.38	0.4	0.30	0.54
BAJO	0.14	0.20	1	5	0.1	0.05	0.08	0.2	0.11	0.19
NO APTO	0.11	0.11	0.20	1	0.1	0.03	0.02	0	0.04	0.07
	1.59	4.31	13.20	24.00					1.00	

DRENAJE	ALTO	MEDIO	BAJO	NA	NORMALIZACIÓN				PESO	VALOR ESTANDARIZADO
ALTO	1	5	7	9	0.7	0.8	0.46	0.4	0.59	1.00
MEDIO	0.20	1	7	9	0.1	0.16	0.46	0.4	0.29	0.49
BAJO	0.14	0.14	1	3	0.1	0.02	0.07	0.1	0.08	0.14
NO APTO	0.11	0.11	0.33	1	0.1	0.02	0.02	0	0.04	0.07
	1.45	6.25	15.33	22.00					1.00	

pH	ALTO	MEDIO	BAJO	NA	NORMALIZACIÓN				PESO	VALOR ESTANDARIZADO
ALTO	1	5	7	9	0.7	0.79	0.53	0.4	0.60	1.00
MEDIO	0.20	1	5	7	0.1	0.16	0.38	0.3	0.25	0.41
BAJO	0.14	0.20	1	5	0.1	0.03	0.08	0.2	0.11	0.18
NO APTO	0.11	0.14	0.20	1	0.1	0.02	0.02	0	0.04	0.07
	1.45	6.34	13.20	22.00					1.00	

MO	ALTO	MEDIO	BAJO	NA	NORMALIZACIÓN				PESO	VALOR ESTANDARIZADO
ALTO	1	3	7	9	0.6	0.69	0.53	0.4	0.57	1.00
MEDIO	0.33	1	5	7	0.2	0.23	0.38	0.3	0.28	0.50
BAJO	0.14	0.20	1	5	0.1	0.05	0.08	0.2	0.11	0.19
NO APTO	0.11	0.14	0.20	1	0.1	0.03	0.02	0	0.04	0.07
	1.59	4.34	13.20	22.00					1.00	

Anexo N° 06. Ponderación de criterios y subcriterios. Fuente: Tesista.

FISIOGRAFICO	PENDIENTE	ALTITUD	NORMALIZACIÓN		PESOS
PENDIENTE	1	0.33	0.25	0.25	0.25
ALTITUD	3	1	0.75	0.75	0.75
	4.00	1.33			1.00

CLIMATICO	PRECIPITACIÓN	TEMPERATURA	NORMALIZACIÓN		PESOS
PRECIPITACIÓN	1	3	0.75	0.75	0.75
TEMPERATURA	0.33	1	0.25	0.25	0.25
	1.33	4.00			1.00

HIDROLOGICO	BHE	BHD	NORMALIZACIÓN		PESOS
BHE	1	3	0.75	0.75	0.75
BHD	0.33	1	0.25	0.25	0.25
	1.33	4.00			1.00