

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRONÓMICA



**ZONIFICACIÓN Y MODELAMIENTO AGROECOLÓGICO PARA
EL CULTIVO DE CAFÉ (*Coffea arabica* L.) UTILIZANDO LA
TECNOLOGÍA DE SIG Y TELEDETECCIÓN EN EL CIP
TAMBOPATA – SANDIA – PUNO**

TESIS

PRESENTADA POR:

**GALLY HELLY LIPA QUISBEL
YENY GOYZUETA HANCCO**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

**INGENIERO AGRÓNOMO
MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL**

PUNO – PERÚ

2018

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRONÓMICA



ZONIFICACIÓN Y MODELAMIENTO AGROECOLÓGICO PARA
EL CULTIVO DE CAFÉ (*Coffea arabica* L.) UTILIZANDO LA
TECNOLOGÍA DE SIG Y TELEDETECCIÓN EN EL CIP
TAMBOPATA - SANDIA – PUNO

TESIS PRESENTADA POR:

GALLY HELLY LIPA QUISBEL
YENY GOYZUETA HANCCO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AGRÓNOMO

APROBADO POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

PRESIDENTE :
Dr. Sc. LUIS ALFREDO PALAO ITURREGUI

PRIMER MIEMBRO :
Ing. M. Sc. ELISBAN URIEL HUANCA QUIROZ

SEGUNDO MIEMBRO :
Ing. M. Sc. JESÚS SÁNCHEZ MENDOZA

DIRECTOR/ASESOR :
Dr. Sc. FLAVIO ORTIZ CALCINA

TEMA: Cambio Climático y Agricultura
ÁREA: Ciencias Agrícolas

FECHA DE SUSTENTACIÓN 21 DE DICIEMBRE DEL 2018

DEDICATORIA

A Dios por darme la vida, la fuerza y la fe que me alienta a seguir adelante con mucha perseverancia, ayudándome a superar barreras para alcanzar mis objetivos y darme dicha y felicidad para vivir con mucho amor y alegría.

Para mis amados Padres con muchísima gratitud y reconocimiento: Juan Lipa Chalco y Flavia Felicia Quispe Quispe, gracias por la confianza, la comprensión, por brindarme la oportunidad, por el inmenso sacrificio y apoyo incondicional que me brindaron durante mi formación profesional, a pesar de la distancia y las escasas posibilidades, gracias por ser el ejemplo de lucha, humildad y dedicación.

A mis queridos hermanos: Ricky y Taylor por brindarme su apoyo, comprensión y aliento incondicional durante mi formación profesional.

Con mucho amor y cariño en especial a mi esposo Junior y mi hijo Iam Adriano Junior quienes son mi fortaleza para seguir adelante con mis objetivos, por estar conmigo siempre, por su sacrificio y apoyo incondicional en la realización de este proyecto el cual es indispensable para mi formación profesional.

Gally Helly Lipa Quisbel

A Dios por darme la luz de la vida la fe y por haberme dado la oportunidad, el conocimiento y paciencia para alcanzar mis objetivos.

A todos mis hermanos; Rubén, Isabel, Gladys, Alicia, Washington, Rodrigo y Leonel; quienes me brindaron su apoyo moral e incondicional, durante mis estudios para la culminación de mi noble profesión.

Este presente proyecto de investigación va dedicado con mucho cariño y reconocimiento a mis padres Florentino Goyzueta Mamani y Lucila Hanco Gutiérrez, gracias a ellos porque son mi inspiración y fortaleza, una sonrisa de ellos ilumina mi mundo y me dan las fuerzas necesarias para luchar y conseguir mis metas. A pesar de sus escasas posibilidades siempre me apoyaron y confiaron en mí.

A mi región y a mi País, por su inmensa diversidad y riqueza cultural, que me llena de orgullo de pertenecer a ello.

Yeny Goyzueta Hanco

AGRADECIMIENTO

- A Dios por darnos la vida y por brindarnos la oportunidad de ser quienes somos.
- A la Universidad Nacional del Altiplano Puno, en especial a la Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica, que gracias a las enseñanzas de sus docentes forman profesionales de gran sabiduría científica y técnica en las Ciencias de la Ingeniería Agronómica.
- A mis docentes de la Facultad de Ciencias Agrarias de la UNA – PUNO.
- Al Dr. Sc. Flavio Ortiz Calcina, por su iniciativa de realizar el proyecto de investigación y su apoyo profesional incondicional en las diferentes etapas del trabajo, en la orientación y sugerencias certeras por sus valiosos consejos y observaciones como director.
- Al Ing. Eloy Profeta León Charca y al Ing. Nestor Curo Neira por su apoyo como asesores del presente proyecto de investigación, por sus valiosos consejos y observaciones.
- Al Ing. Cancio Calvo por facilitarnos las instalaciones del CIP-Tambopata y brindarnos su apoyo en la realización de las actividades de campo del presente proyecto de investigación.
- A los miembros de jurado Dr. Sc. Luis Alfredo Palao Iturregui, M. Sc. Elisban Uriel Huanca Quiroz y al M. Sc. Jesús Sánchez Mendoza, por la revisión y enriquecimiento de este proyecto de investigación y también con mucho respeto y reconocimiento por el apoyo y colaboración en el área de suelos al ex miembro del jurado que en paz descansa M. Sc. Angel Cari Choquehuanca.
- Al proyecto ordenamiento territorial Puno.
- A Tec. Químico. Benito Fernández Calloapaza.
- A todos nuestros compañeros de estudio, amigos (as) y personas, por darnos siempre la fuerza, apoyo moral e incondicional y que de una u otra forma colaboraron para la finalización de este proyecto de investigación.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN	13
ABSTRACT.....	14
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	15
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
CAPÍTULO II: REVISIÓN DE LITERATURA	17
2.1. ANTECEDENTES.....	17
2.1.1. EN AMÉRICA	17
2.1.2. EN LA REGIÓN PUNO.....	17
2.1.3. A NIVEL DE LOS CIP'S	18
2.2. MARCO TEÓRICO	18
2.2.1. CAFÉ (<i>Coffea arabica</i> L.).....	18
2.2.2. ORIGEN Y DISTRIBUCIÓN DEL CAFÉ	18
2.2.3. EL CAFÉ EN EL PERÚ	19
2.2.4. EL CAFÉ EN PUNO	19
2.2.5. RENDIMIENTO DE CAFÉ	19
2.2.6. DESCRIPCIÓN TAXONÓMICA.....	20
2.2.7. LA PLANTA DE CAFÉ	21
2.2.8. DESCRIPCIÓN BOTÁNICA.....	22
a) Raíz	22
b) Tallo.....	22
c) Hoja.....	22
d) Flores	22
e) Fruto.....	23
f) Semilla	23

2.2.9. CICLO FISIOLÓGICO DEL CULTIVO DE CAFÉ.....	23
2.2.10. CALIDAD DE CAFÉ	24
2.2.11. SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG).....	24
2.2.12. AGROECOLÓGICA.....	33
2.2.13. ZONIFICACIÓN	34
2.2.14. MODELO ESTOCÁSTICO	34
2.2.15. MODELAMIENTO.....	35
2.2.16. FACTORES AGROECOLÓGICOS PARA LA PRODUCCIÓN DEL CAFÉ.....	37
a. Clima	37
b. Precipitación.....	38
c. Temperatura.....	38
d. Suelo.....	38
2.2.17. VARIABLES BIOFÍSICAS PARA EL CULTIVO DE CAFÉ	41
2.3. MARCO CONCEPTUAL	46
2.3.1. Clasificación práctica del uso actual del suelo.....	46
2.3.2. Clasificación por capacidad de uso mayor	47
2.3.3. Clases de calidad agrológica de capacidad de uso mayor	48
2.4. MARCO LEGAL	49
CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS	50
3.1. MATERIALES.....	50
3.1.1. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	50
3.1.2. HERRAMIENTA Y EQUIPOS.....	50
3.1.2.1. Recursos materiales.	50
3.1.3. Adquisición de las bandas de satélite IMG_RAPIDEYE_2012.....	51
3.2. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	52
3.2.1. Etapa preliminar	53

3.2.2. Etapa de campo	53
a) Ubicación de calicatas	53
b) Excavación de calicatas.....	53
c) Toma de muestras	54
3.2.3. Etapa de laboratorio	54
3.2.4. Etapa de gabinete.....	55
3.2.4.1. Metodología para el primer objetivo.	55
3.2.4.2. Metodología para el segundo objetivo	57
3.2.4.3. Metodología para el tercer objetivo	58
3.2.4.3.1. Ponderación para modelamiento de zonificación agroecológica para cultivo de café.....	67
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	69
4.1. Clasificación de las tierras según su capacidad de uso mayor de los suelos....	69
4.1.1. Tierras aptas para cultivos permanentes (Símbolo C)	72
4.1.2. Tierras aptas para cultivos permanentes y forestales (SIMBOLO C-F).....	74
4.1.3. Tierras aptas para producción forestal	75
4.1.4. Descripción de serie de suelos	76
4.2. Uso actual de la tierra.....	82
4.3. Conflicto de uso de tierras.....	84
4.4. Modelamiento agroecológico del predio CIP-Tambopata para cultivo de café	86
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES	96
CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES.....	97
CAPÍTULO VII: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	98
ANEXOS.....	102

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Niveles de crecimiento de café.....	21
Figura 2. Elementos de un proceso de teledetección	26
Figura 3. Modelo raster y modelo vector sobre la tierra (Lantada, 2004)	27
Figura 4. Sensores pasivo y activo usados en teledetección (Chuvienco, 2010). 29	29
Figura 5. Etapas del proceso de modelamiento	36
Figura 6. Desplazamiento del cultivo de café por cambio climático.....	38
Figura 7. Condiciones físicas del suelo (Loli, 2012).	39
Figura 8. Fases de la metodología para la elaboración de la etapa preliminar	52
Figura 9. Fases de la metodología para la elaboración de los mapas temáticos para el primer objetivo.....	55
Figura 10. Fases de la metodología para la elaboración de los mapas temáticos para el segundo objetivo	57
Figura 11. Fases de la metodología para la elaboración de mapas temáticos para el tercer objetivo	59
Figura 12. Clasificación de capacidad de uso mayor del CIP – Tambopata	71
Figura 13. Uso actual de tierras CIP-Tambopata.....	83
Figura 14. Uso actual según Cultivos del CIP-Tambopata.....	84
Figura 15. Conflicto de uso según cultivos del CIP-Tambopata	85
Figura 16. Conflicto de uso de tierras del CIP-Tambopata	86
Figura 17. Distribución de áreas por zonas agroecológicas.....	89
Figura 18. Rendimiento en kg/ha y volumen has según la aptitud para cafetal del CIP-Tambopata.	90
Figura 19. Correlación lineal altitud y temperatura.....	91
Figura 20. Tendencia transformada a la función exponencial en el semivariograma Kriging	91
Figura 21. Aptitud agroecológica de tierras por capacidad de uso mayor y pendiente para el cultivo de café	94
Figura 22. Aptitudes agroecológicas para el cultivo de café del CIP-Tambopata.....	94
Figura 23. Rendimiento de cultivo de café/has por aptitud agroecológica del CIP-Tambopata	95
Figura 24. Diagrama bioclimático de zonas de vida de los sistemas Holdridge.....	129
Figura 25. Resultados de análisis de caracterización de suelos.....	152
Figura 26. Resultado de certificado de análisis de agua.....	155

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Resolución espectral del sensor ETM+ Landsat7. Los valores, expresados en micrones, representan los límites de longitudes de onda a los que es sensible cada banda espectral.....	32
Tabla 2. Tipos de cafés producidos en el Perú según la altitud.	44
Tabla 3. Clasificación del uso actual de tierras según categorías de uso actual.	46
Tabla 4. Rango de pendientes según la clave 14 del DS 017-2009-AG.....	56
Tabla 5. Procesos para el modelamiento de mapa calor	63
Tabla 6. Parámetros térmicos para las zonas climáticas	65
Tabla 7. Requerimiento agroecológico para la oferta y demanda del cultivo de café ...	66
Tabla 8. Principios, criterios y parámetros para el modelamiento.....	67
Tabla 9. Criterio de ponderación de variables para el modelamiento agroecológico. ...	68
Tabla 10. Clasificación de tierras por capacidad de uso mayor de suelos del CIP-Tambopata.....	70
Tabla 11. Determinación de la clasificación según la capacidad de uso mayor de tierras para el CIP-Tambopata.....	71
Tabla 12. Limitaciones y calidad agrológica según la clasificación de capacidad de uso mayor de tierras CIP-Tambopata.....	72
Tabla 13. Rango de pendientes de área del CIP-Tambopata.....	80
Tabla 14. Unidades fisiográficas según pendientes del área CIP-Tambopata.....	81
Tabla 15. Zonas de vida del área de CIP-Tambopata.....	82
Tabla 16. Categoría y clase de uso actual de tierras del CIP-Tambopata.....	83
Tabla 17. Uso actual de tierras por cultivo de CIP-Tambopata.....	83
Tabla 18. Conflicto de uso de tierras según cultivos del CIP-Tambopata.....	85
Tabla 19. Conflicto de uso de tierras de CIP-Tambopata.....	85
Tabla 20. Modelamiento de zonificación agroecológica del CIP-Tambopata.....	88
Tabla 21. Modelamiento agroecológico según su aptitud de tierras del CIP-Tambopata.....	89
Tabla 22. Rendimiento en Kg/has y volumen has según la aptitud para cafetal del CIP-Tambopata.....	90
Tabla 23. Aptitudes agroecológicas de tierras por capacidad de uso mayor y pendiente para el cultivo de café del CIP-Tambopata.....	93

Tabla 24. Rendimiento de cultivo de café/has por aptitud agroecológica del CIP- Tambopata.....	95
Tabla 25. Ficha Técnica de Evaluación del Suelo (Serie Huaccaychuro)	112
Tabla 26. Ficha Técnica de Evaluación del Suelo (Serie Tocoral).....	113
Tabla 27. Ficha Técnica de Evaluación del Suelo (Serie monte virgen)	114
Tabla 28. Ficha Técnica de Evaluación del Suelo (Serie invasión huaccaychuro)	115
Tabla 29. Ficha Técnica de Evaluación del Suelo (Serie cultivo de café).....	116
Tabla 30. Ficha Técnica de Evaluación del Suelo (Serie cafeto sin producción).....	117
Tabla 31. Ficha Técnica de Evaluación del Suelo (Serie cítricos ojo de agua)	118
Tabla 32. Ficha Técnica de Evaluación del Suelo (Serie Invasión Jayupa)	119
Tabla 33. Ficha Técnica de Evaluación del Suelo (Serie Cítricos).....	120
Tabla 34. Ficha Técnica de Evaluación del Suelo (Serie cítricos remontado)	121
Tabla 35. Factores edáficos para determinar la calidad agrológica	127
Tabla 36. Parámetros para determinar la clasificación de capacidad de uso mayor de tierra.....	128

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

CIP	: Centro de investigación y producción
SIG	: Sistema de Información Geográfica
ERDAS	: Earth resources digital analysis System
ZAE	: Zonificación agro - ecológica
FAO	: Organización de las naciones unidas para alimentación y la agricultura
SADE	: Sistemas de Ayuda a la Decisión Espacial
AECs	: Celdas agro-ecológicas
MSNM	: Metros sobre el nivel del mar
CUM	: Capacidad de uso mayor
MINAN	: Ministerio del ambiente
CIC	: Cambio de Intercambio de Cationes
ETP	: Evapotranspiración potencial
UAT	: Uso actual de tierras
UGI	: Unión Geográfica Internacional
ETM	: Enhanced Thematic Mapper
MDT	: Modelos digitales de terreno
GPS	: Sistema de Posicionamiento Global
UTM	: Universal transverse mercator
NASA	: National Aeronautics and Space Administration
USGS	: United Sates Geological Survey
ETM	: Enhanced Thematic Mapper Plus
WGS 84 1984)	: World Geodetic System 84 (Sistema Geodésico Mundial
DEM	: Modelo de Elevación digital

RESUMEN

El presente proyecto de investigación se realizó en el CIP-Tambopata de la Universidad Nacional del Altiplano - Puno, ubicado en el Distrito de San Juan del Oro, Provincia de Sandía, Departamento de Puno; teniendo como área de estudio una superficie total de 148.317 has. El método de investigación aplicado en el campo fue según el Decreto Supremo de ordenamiento territorial y metodología para el trabajo de gabinete se utilizó el software ArcGIS y mapa base; informaciones relevantes para el levantamiento de mapa de pendiente, fisiográfico, zonas de vida, capacidad de uso mayor, uso actual de la tierra, conflicto de uso de la tierra, hidrografía, climatología, sombra, hipsométrico, zonificación agroecológica y ordenamiento agroecológico para el cultivo de café. Teniendo como variables limitantes más importantes el suelo, clima y pendiente. Según los resultados obtenidos las áreas para la producción de cafetales pertenecen al grupo de clasificación capacidad de uso mayor de suelos del CIP- Tambopata, tierras potenciales para cultivos permanentes con una extensión de 92.44 ha; así como también tierras aptas para forestales con una superficie de 50.86 ha y tierras aptas para cultivos permanentes asociado con forestales con un área de 5.00 ha. Actualmente los suelos del CIP-Tambopata se encuentran en conflicto por sobre uso, con una extensión de 0.22 ha y el nivel adecuado con una extensión de 9.88 ha, sin uso con una extensión de 138.22 ha. Para la simulación del escenario prospectivo del CIP-Tambopata, son tierras apta para café con un área de 9.08 ha, con un rendimiento de 1650 Kg/ha lo que representa a un volumen de 1.65 tn., aptitud cafetal moderada con una extensión 62.19 ha, con un rendimiento de 1150 Kg/ha lo que representa a un volumen de 1.15 tn., aptitud cafetal restringida con un área de 15.46 ha, con un rendimiento de 500 Kg/ha, lo que representa a un volumen de 0.65 tn. Del total del área estudiada.

Palabras claves: Agroecológico, *Coffea arábica*, SIG, teledetección, zonificación.

ABSTRACT

The present research project was carried out in the CIP-Tambopata of the Universidad Nacional del Altiplano - Puno, located in the District of San Juan del Oro, Province of Sandía, Department of Puno; having as a study area a total surface area of 148,317 hectares. The research method applied in the field was according to the Decreto Supremo of territorial ordering and methodology for the work of the cabinet, ArcGIS software version 10.3 and base map were used; Relevant information for the slope map, physiographic survey, life zones, capacity for major use, current land use, land use conflict, hydrography, climatology, shade, hypsometric, agroecological zoning and agroecological ordering for cultivation of coffee. Having the soil, climate and slope as the most important limiting variables.

According to the results obtained, the areas for coffee production belong to the CIP-Tambopata soil use classification group, potential land for permanent crops with an extension of 92.44 ha; as well as lands suitable for foresters with an area of 50.86 ha and land suitable for permanent crops associated with forestry with an area of 5.00 ha. Currently CIP-Tambopata soils are in conflict over use, with an extension of 0.22 ha and the appropriate level with an extension of 9.88 ha, without use with an extension of 138.22 ha. For the simulation of the prospective scenario of CIP-Tambopata, they are suitable for coffee with an area of 9.08 ha, with a yield of 1650 kg / ha representing a volume of 1.65 tons. Moderate coffee capacity with an extension of 62.19 ha. , with a yield of 1150 Kg / ha which represents a volume of 1.15 tons, restricted coffee capacity with an area of 15.46 ha, with a yield of 500 Kg / ha, which represents a volume of 0.65 tons. Of the total area studied.

Keywords: Agroecological, Coffea arabica, GIS, remote sensing, zoning.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El café (*Coffea arabica* L.) es la especie de mayor importancia económica; es la más conocida y con mayor distribución en las áreas subtropicales y tropicales del mundo, del grupo de 60 especies que constituyen el género *coffea* y de más de cinco mil especies que comprende la familia rubiácea (RIMACHE, 2008).

La zonificación agroecológica (ZAE), de acuerdo con los criterios de FAO, define zonas en base a combinaciones de suelo, fisiografía y características climáticas. Los parámetros particulares usados en la definición se centran en los requerimientos climáticos y edáficos de los cultivos y en los sistemas de manejo bajo los que éstos se desarrollan. Cada zona tiene una combinación similar de limitaciones y potencialidades para el uso de tierras, y sirve como punto de referencia de las recomendaciones diseñadas para mejorar la situación existente de uso de tierras, ya sea incrementando la producción o limitando la degradación de los recursos. Cuando se combinan con un inventario de usos de tierras, expresado como tipos de utilización de tierra y sus requisitos ecológicos específicos, la zonificación puede usarse entonces como base de una metodología para evaluar los recursos de tierra (FAO, 1997).

Para llevar a cabo la zonificación y modelamiento agroecológico de un cultivo, es necesario definir en primer lugar sus requerimientos ecológicos, variables y a partir de ahí definir las bases para la zonificación (Soto, 2001).

Para esto, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) mediante los Sistemas de Ayuda a la Decisión Espacial (SADE), nos permitirá manejar las variables que representan al medio físico en donde se desarrollara este proyecto de investigación, tales como clima, suelo, vegetación, topografía, flora y fauna; cada uno de ellos se caracteriza por la variación espacial que presentan dentro del territorio. El clima es influenciado principalmente por la topografía del medio, el suelo puede considerarse como un recurso potencial y como una limitación para el desarrollo del cultivo de café; siendo analizada su influencia para los cultivos en función a su disponibilidad y a su calidad. Todas estas variables deberán estar especializadas dentro del área de estudio para poder integrarlas en función a su grado de influencia para el buen desarrollo del cultivo de café (León, 2015).

El uso inadecuado de las tierras agrícolas conlleva a impactos negativos como: El deterioro de la calidad del suelo, erosión, deterioro del paisaje, pérdida de la

biodiversidad. Por lo tanto; sobre la base de la información de modelación o simulación de los escenarios es oportuno tomar decisiones y aplicar las medidas correctivas para el uso adecuado de los recursos (León, 2015).

Durante los últimos años se ve un decrecimiento en los rendimientos del cultivo de café debido al desconocimiento de manejo de cultivo, escaso mantenimiento, escaso capital financiero y bajos conocimientos de manejo y conservación del cultivo de café que se da por el personal técnico y administrativo del CIP-Tambopata. Por lo que surge, implementar la zonificación y modelación de las potencialidades del escenario prospectivo (Comisión, 2015).

Deben ser centros modelos, que den a conocer conocimientos científicos y prácticos en el manejo de los recursos.

El propósito de zonificar y modelar, la planificación del uso de recursos naturales, es separar áreas con similares potencialidades y limitaciones para la producción de café. Los programas específicos pueden, entonces, formularse para proporcionar el apoyo más efectivo para cada zona.

Mediante el proyecto de investigación se dará mayor énfasis a la utilización de tecnologías para el ordenamiento de las plantaciones de café en el CIP-Tambopata, así como es el sistema de información geográfica y teledetección, que constituirá en un instrumento de gestión adecuado en la solución de conflictos de uso de las tierras, así como también servirá como referente para las plantaciones que se realizarían en todo el valle del Tambopata, y con esto contribuir al mayor rendimiento y calidad de café en el valle de Tambopata.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Clasificar la potencialidad de las tierras por capacidad de uso mayor para el cultivo de café en CIP-Tambopata.
- Caracterizar el comportamiento de las variables biofísicas sobre los submodelos de capacidad de uso mayor de suelos y uso actual de tierras del CIP-Tambopata.
- Zonificar la agroecología en categorías de aptitudes para el cultivo de café en el CIP-Tambopata

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES

2.1.1. EN AMÉRICA

El estudio se realizó en Ecuador. Con el objetivo de elaborar la zonificación agroecológica económica del cultivo de café, en el Ecuador continental a escala 1:250000, que contribuya como herramienta de análisis para una adecuada planificación agrícola, el ordenamiento territorial y mejoramiento de la productividad del cultivo (DIGDM, 2014).

El estudio se realizó en Cuba titulado la zonificación agroecológica del (*Coffea arábica* L.) en Cuba. MACIZO MONTAÑOSO SAGUA- NIPE – BARACOA. El programa diseñado al efecto permite analizar cuál o cuáles de las variables consideradas tiene mayor influencia en el comportamiento del cafeto. El análisis arrojó que los elementos de clima fundamentales son la temperatura media diaria y la media anual de las precipitaciones; otro elemento discriminante fue el suelo, donde se definieron los tipos y su aptitud para el cafeto así como su profundidad efectiva; a partir de estas bases se definieron las categorías para la zonificación agroecológica del cafeto, las cuales son: óptima, medianamente óptima, aceptable y no apta, en cada una de ellas se establecen los niveles potenciales de rendimiento. Esta metodología de trabajo se validó en el macizo montañoso Sagua-Nipe-Baracoa (Soto, 2001).

2.1.2. EN LA REGIÓN PUNO

El presente estudio se realizó, en el Valle de Alto Inambari Sandia “Zonificación de las unidades de producción y calidad de café orgánico (*Coffea arábica* L.)”; con el objetivo de zonificar las unidades de producción de café orgánico (*Coffea arábica* L.) y determinar la calidad del café en los pisos altitudinales bajo, medio y alto. Concluye que la zonificación en base a la altitud muestra que los cultivos de café orgánico se encuentran en piso altitudinal alto con 27.02%, medio con 67.45% y el piso altitudinal bajo con 5.53% de productores de café orgánico. Análisis físico para el color, olor y el porcentaje de humedad de café verde, no mostraron diferencias significativas entre los pisos altitudinales, el mayor rendimiento físico de café de exportación se obtuvo en el piso altitudinal alto con 81.46%, seguido del piso altitudinal medio con 80.19%. En perfil de tasa, la mejor calidad sensorial del café, se obtuvo en el piso altitudinal alto con 84.36 puntos, el piso altitudinal medio con 82.63 puntos y el piso altitudinal bajo con 80.88

puntos. En el piso altitudinal alto se obtuvo el mayor rendimiento físico y calidad sensorial del café orgánico, mostrándose como una de las potenciales para la producción del café orgánico en el valle de Inambari (Bruno, 2015).

2.1.3. A NIVEL DE LOS CIP'S

En el CIP-Camacani de UNA Puno se hizo el proyecto de investigación “zonificación y análisis de la potencialidad agrícola y forestal de las tierras y su ordenamiento territorial con sistema de información geográfica” presentado por el bachiller Eddy Cervantes Zavala de la escuela profesional de Ingeniería Agronómica en el 2012; con la finalidad de delimitar y ubicar las áreas de muestreo y trabajados en el software de Sistema de Información Geográfica. Como resultado final la potencialidad real del CIP Camacani y obtuvimos que el área de estudio es de vocación compartida tanto forestal y agrícola, la aptitud forestal es la que predomina con un área de 28.4 hectáreas, que es el 48.76%, pero que solo se está explotando 20.86 hectáreas, la aptitud agrícola es la segunda potencialidad predominante con un área de 20.26 hectáreas para la producción de cultivos en limpio, pero que solo se está aprovechando 17.98 hectáreas, para el sector de Camata la única potencialidad determinada es la agrícola con 34.08 hectáreas, que equivale al 86.68%. Además se obtuvo que en el área de Camacani, el 12.41% con 7.54 hectáreas se encuentra en conflicto por sobreuso, considerado el nivel más perjudicial de conflicto principalmente en la zona de colina, y el nivel de conflicto por subuso, representa 6.2% que equivale a 3.75 hectáreas, con respecto a la zona de Camata, solo un 2.82% se encuentra en conflicto por subuso, no habiéndose identificado otros niveles de conflicto (Cervantes, 2012).

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. CAFÉ (*Coffea arabica* L.)

Coffea arabica L. Es la especie de mayor importancia económica, es la más conocida y con mayor distribución en las áreas subtropicales y tropicales del mundo, del grupo de 60 especies que constituyen el género *coffea* y de más de cinco mil especies que comprendes la familia rubiácea (Rimache, 2008).

2.2.2. ORIGEN Y DISTRIBUCIÓN DEL CAFÉ

Se trata de un arbusto siempre verde originario de Etiopia. Es sin duda hoy uno de los vegetales más conocidos en el mundo entero. Una versión dice que el cafeto o café fue descubierto casualmente por un pastor al ver que sus cabras, que habían comido el fruto de esta planta, se ponían nerviosas e intranquilas. Otra versión, en cambio, afirma que el

café lo descubrieron unos monjes que lo utilizaban para proporcionarse insomnio en sus horas de oración nocturna (Rimache, 2008). Al margen de las leyendas, la evidencia botánica indica que el café se originó en las mesetas de Etiopía central, miles de metros sobre nivel del mar, donde aún crece de manera silvestre. Desde allí fue llevado a Arabia desde donde se extendió (Sánchez R. C., 2005).

Es uno de los cultivos de mayor importancia en muchos países del mundo como: Colombia, Brasil, el Salvador, Nicaragua, y muchos otros como el Perú. El género **Coffea**, consta de 25 a 40 especies en Asia y África tropicales; pertenece a la tribu Coffeoideae de la familia Rubiaceae (Blanco, 2000).

2.2.3. EL CAFÉ EN EL PERÚ

Según algunas crónicas, la provincia de Chinchao en Huánuco es el lugar donde se cultivó café en el Perú por primera vez entre los años 1740-1760, sin embargo, es a partir de 1850 que en el valle de Chanchamayo se inició su cultivo comercial gracias a la acción de colonizadores franceses, alemanes, ingleses e italianos. Desde allí su cultivo se ha extendido a otras regiones del Perú hasta que, en 1887, se realizó la primera exportación de café a Alemania e Inglaterra (Fundes, 2012).

2.2.4. EL CAFÉ EN PUNO

El agricultor cafetalero Raúl Mamani del distrito de Putina Punco, provincia de Sandia, ganó el premio mundial del mejor café de calidad en la feria internacional de Global Specialty Coffee EXPO Seattle 2017, desarrollada en Estados Unidos. Con este resultado se confirma que “el mejor café del mundo es peruano”. Gran reconocimiento que enorgullece a una nación y que se debe al arduo trabajo de miles de peruanos, encabezados por Mamani, quien es socio de la Central de Cooperativas Cafetaleras de los Valles de Sandia (Cecovasa) (Malca, 2017).

El café puneño se consolida como el mejor del mundo, recientemente ganó el Premio Mundial al Mejor Café de Calidad, en la categoría pequeños productores, de la feria Global Specialty Coffee EXPO Seattle 2018, realizada en Estados Unidos. Esta vez la galardonada en la feria de Seattle, en Estados Unidos, fue Vicentina Phocco Palero, socia de la cooperativa Túpac Amaru, ubicada en el distrito de Alto Inambari, en la provincia de Sandia, en la región Puno, quien fue la mentora de la marca “Quechua”. (AGENCIA ANDINA, 2018).

2.2.5. RENDIMIENTO DE CAFÉ

Con el propósito de mejorar el ingreso del productor ante los efectos del fenómeno del Niño, a partir de hoy rige a nivel nacional, para las compras que realice el Fondo Nacional

del Café, la compra por factor de rendimiento en trilla en lugar del sistema de porcentaje de almendra sana. El factor de rendimiento es la cantidad de café pergamino necesario para obtener un saco de 70 kilos de café excelso (tipo exportación), que se determina durante el proceso de trilla.

Este método de compra de café permite valorar los diferentes tipos de granos que lleva el productor a un punto de compra, de manera mucho más precisa en momentos en que los efectos del fenómeno de El Niño hacen prever una mayor cantidad de granos de menor densidad, conocidos como “averanados”. La medida es parte de las estrategias para mejorar la rentabilidad del productor, que el Gerente General de la Federación Nacional de Cafeteros (FNC), Roberto Vélez Vallejo, ha fijado como prioridad desde el comienzo de su gestión.

El precio interno base de referencia se liquidará a partir de hoy teniendo en cuenta los siguientes factores:

- Factor de rendimiento base 94 kilos de pergamino seco por saco de 70 kilogramos.
- Precio sacos por carga = (94 kilos / factor de rendimiento en kilos) X precio base / carga
- La bonificación para cafés especiales será para factores inferiores a 93,33.
- Se mantienen los descuentos por taza y los descuentos por porcentajes de broca superior al 5%.
- Se incluye el precio de las pasillas y granos inferiores en el valor total por carga de café pergamino seco (Vélez, 2015).

2.2.6. DESCRIPCIÓN TAXONÓMICA

El café pertenece al género *Coffea* con aproximadamente 100 especies, no obstante, únicamente tres de estas se mencionan como cultivadas comercialmente. Esta descripción es adaptada en la nueva clasificación en base a datos moleculares según (NCB, 2014).

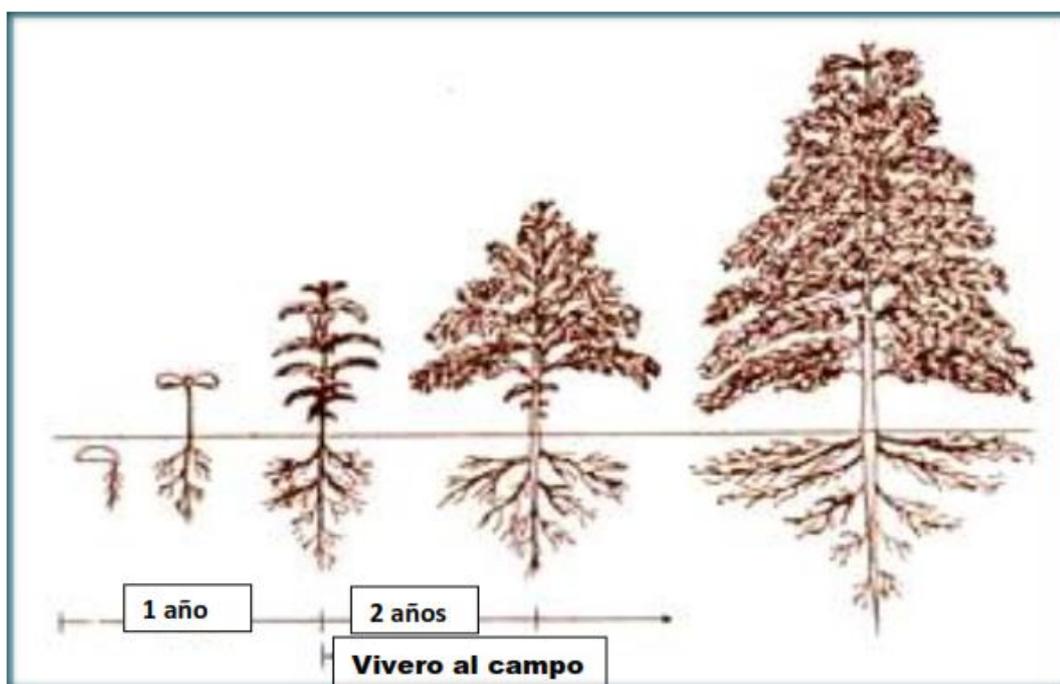
Reino	: Plantae
División	: Magnoliophyta
Clase	: Magnoliata
Orden	: Rubiales
Familia	: Rubiaceae
Subfamilia	: Ixoroideae
Género	: Coffea
Especies	: Coffea arábica.

2.2.7. LA PLANTA DE CAFÉ

Hay cuatro especies o grupos o formas principales, que se cultivan ampliamente y constituyen los cafés del comercio: café arábigo (*C. arabica* L.), café robusto (*C. canephora* Pierre ex Froehner), café liberiano (*C. liberica* Mull ex Hiern), y café excelso (*C. excelsa* A. Chev.); además, existe una gran cantidad de otras especies llamadas económicas, que se plantan en escala local y normalmente no entran a los canales comerciales (Loli, 2012).

Con el mejoramiento de plantas se han desarrollado diferentes tipos de plantas (variedades, cultivares, híbridos), que presentan características específicas que colaboran con la mayor producción y calidad (Loli, 2012).

Entre las variedades más comunes se tiene Typica, Bourbon rojo, Caturra rojo, Pache, Catimor, siendo esta última variedad la que presenta como ventaja tolerancia a la roya amarilla y es de alta producción (Loli, 2012).



Fuente: Guía técnica análisis de suelos y fertilización en el cultivo de café (Loli, 2012)
Figura 1. Niveles de crecimiento de café.

Las plantas presentan diferentes eficiencias en la absorción de nutrientes, por lo que presentan órganos adecuados para el ingreso de estos como son las raíces, por donde ingresa la mayor cantidad de nutrientes y también por las hojas por donde absorben los nutrientes, pero en mucha menor cantidad (Loli, 2012).

2.2.8. DESCRIPCIÓN BOTÁNICA

a) Raíz

El sistema radical de los cafetos está constituido por una raíz cónica y pivotante que alcanza de 50 cm. a 60 cm. de profundidad. De la raíz principal se deriva dos tipos de raíces de segundo orden: las raíces de sostén o axiales, las cuales son profundas, y las raíces laterales, en donde crecen las raicillas encargadas del intercambio de nutrientes con el suelo; comprendiendo estas últimas el 80% del sistema radical es a una profundidad de 0.30 m y un radio de 2.5 m alrededor del tronco de la planta (Alvarado D. , 2004).

b) Tallo

Cafeto normalmente forma un suelo de eje o tallo central, con nudos y entrenudos formados por el crecimiento de ápice vegetativo el tallo del cafeto en sus primeros a nueve a once nudos presenta solo hojas dispuestas en filotaxia 2/5. A partir del doceavo nudo aparecen las ramas primarias, dispuestas en inserción opuesta entre sí, formando pares los mismos que llevan orientación alternativa, dando a la parte aérea de la planta una formación cónica. Las ramas laterales, donde se forman los frutos, surgen de lado superior de las axilas de las hojas que están insertadas al eje o tallo central. Estas ramas laterales o primarias forman a su vez, nuevas hojas y entrenudos, dando lugar a ramas secundarias y de estas la terciaria. Este esquema de formación sucesiva de ramas no se produce a cada nudo, sino en modo ocasional (Gonzáles, 2010).

c) Hoja

El cafeto según su edad muestra diferentes características en sus ahojas al germinar la semilla, las dos primeras hojas que se forman se denominan cotiledones son de forma circular y de superficie corrugada. Las 9 a 11 hojas que se forman a continuación son elípticas y lanceoladas y de superficie ondulada. Las hojas que se forman en las ramas primarias, secundarias o terciarias aparecen en un mismo plano y en pares opuestos, cada uno con dos estipulas agudas. Las dimensiones de estas hojas están entre a 12 a 24cm. De largo 5 a 12cm. La forma de estas esta entre elípticas a lanceolada. Las hojas presentan un verde oscuro, brillante; la cara inferior verde más claro, con las nervaduras sobresalientes de la lámina foliar (Duicela, 2010).

d) Flores

En los vértices (axiales) de los laterales, se forman las flores que representan la futura cosecha de la planta, determinándose que el inicio y crecimiento de la flor y luego del fruto, están básicamente influenciados por la luz solar, agua temperatura, reguladores de

crecimiento vegetal (hormonas), balance nutricional y condiciones fitosanitarias de la planta. En las variedades de *Coffea arábica* L. que se cultivan en el país, la autopolinización alcanza alrededor de un 90-95%, lo garantiza en gran medida que no se tengan problemas de mezcla genética en las plantas hijas que se obtienen por la semilla. De la flor se origina el fruto y dentro de este se encuentra el grano, que comercialmente se denomina café (Alvarado, 2004).

e) Fruto

El fruto del cafeto es una drupa que contiene dos semillas, las que se encuentran separadas por el tabique interna del ovario. El color verde del fruto, según su evolución hacia la maduración cambia de verde a amarillento y posteriormente a rojo vinoso o amarillo de los cultivares de cafetos (Prieto, 2002).

f) Semilla

Se compone de dos partes: Almendra y pergamino. La almendra es dura y de color verdoso, está cubierta de una película plateada cuando está seca, y del embrión que es una planta muy pequeña que está dentro de la almendra y se alimenta de ella en los primeros meses de desarrollo de la planta. La parte roja o amarilla del fruto maduro se conoce con el nombre de pulpa, que protege la semilla, hay una cubierta llamada pergamino que está cubierta de una sustancia azucarada que es el “mucilago” o “baba”. Al café seco se le denomina pergamino (Arcila, 2007).

2.2.9. CICLO FISIOLÓGICO DEL CULTIVO DE CAFÉ

Manifiesta que en el ciclo fisiológico del café es el tiempo transcurrido de una campaña a otra; dura doce meses, y tiene cuatro etapas bien marcadas y son las siguientes etapas (Marín, 2013).

- **Floración**

Las yemas se transforman en flores o ramas, hay mayor desarrollo vegetativo, gran producción de ramas y hojas, máxima actividad radicular y mayor formación de pelos adsorbentes. Esta etapa presenta una duración de dos a tres meses.

- **Desarrollo del fruto o llenado de grano**

Llenado intenso del grano, menor producción de ramas y hojas y menor formación de pelos absorbentes. Esta etapa presenta una duración de cuatro meses.

- **Maduración**

Crecimiento vegetativo mínimo, se presenta la formación de nuevas yemas, menor actividad radicular y degradación de pelos absorbentes. Esta etapa presenta una duración de tres meses.

- **Descanso**

No hay desarrollo de ramas y hojas, no hay adsorción de agua y nutrientes, las yemas se diferencian y crecen, pero no se abren. Esta etapa presenta una duración de dos meses.

2.2.10. CALIDAD DE CAFÉ

Indican que la calidad del café se define como la aptitud de un producto para satisfacer la necesidad de un consumidor específico, por la evaluación de sus características físicas y organolépticas, que son importantes para la comercialización; estableciendo estándares de calidad que faciliten y garanticen las operaciones de nuestro mercado. También se refiere a las características intrínsecas del grano es decir las características físicas y organolépticas que inciden principalmente en el precio de venta del café. Sobre la calidad del grano de café influye a su vez en forma determinante la composición química del grano, condicionada por la constitución genética de la especie, si es *C. arábica* o *C. canephora* (Fischersworing, 2001).

2.2.11. SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)

Indica que un SIG es 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. Solo la tecnología SIG permite almacenar y manipular información usando geografía para analizar patrones, relaciones y tendencias en la información, todo tendiente a contribuir a tomar mejores decisiones (Alzate, 2001).

a. Componentes de Sistema de Información Geográfica (SIG)

Menciona los siguientes componentes de Sistema de Información Geográfica (SIG) (Cervantes, 2012).

- **Equipos (Hardware)**

Permitir la entrada y salida de la información geográfica en diversos medios y formas.

- **Programas (Software)**

Proveer una base funcional que sea adaptable y expandible de acuerdo con los requerimientos propios de cada organización.

- **Base de datos**

Contener la información que garantice el funcionamiento analítico del SIG.

- **Recursos humanos**

Resolver los problemas de entrada de datos. Conceptualizar las bases de datos integradas y los modelamientos necesarios para el análisis de la información resultante, aplicando diversos criterios.

- b. Base de datos espacial.**

Es un sistema administrador de bases de datos que maneja datos existentes en un espacio o **datos espaciales**. Un dato espacial es una variable asociada a una localización del espacio. Normalmente se utilizan datos vectoriales, los cuales pueden ser expresados mediante tres tipos de objetos espaciales. Para definir la localización y relación entre objetos, ya que los datos tratados en este tipo de bases de datos tienen un valor relativo, no es un valor absoluto. Los sistemas de referencia espacial pueden ser de dos tipos:

- **Georreferenciados** (aquellos que se establecen sobre la superficie terrestre. Son los que normalmente se utilizan, ya que es un dominio manipulable, perceptible y que sirve de referencia).

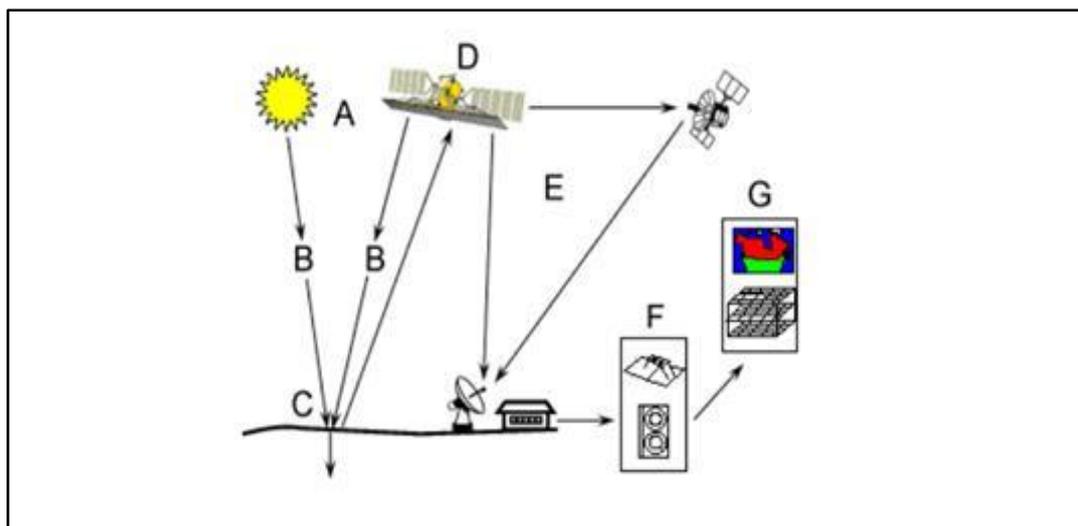
- **No georreferenciados** (son sistemas que tienen valor físico, pero que pueden ser útiles en determinadas situaciones) (Alzate, 2001).

- c. El papel del sistema de información geográfica (SIG)**

El SIG juega un papel importante como el de almacenar y manejar los datos de entrada y los resultados, pre-procesamiento de datos de entrada (Edición, transformación, interpolación, derivación de parámetros, etc.), análisis y visualización de los resultados, además de proveer el ambiente computacional y la herramienta para la simulación (Alzate, 2001).

- **Teledetección**

Señala que la teledetección o la percepción remota es la ciencia de adquirir y procesar información de la superficie terrestre desde sensores instalados en plataformas espaciales, gracias a la interacción de la energía electromagnética que existe entre el sensor y la tierra (Chuvienco, 2010).



Fuente: Grupo de Investigación en teledetección ambiental (Chuvienco, 2010).
Figura 2. Elementos de un proceso de teledetección

d. Los modelos y simulaciones

El modelamiento de procesos y las simulaciones cobijan los conceptos teóricos y los métodos computacionales, que describen, representan y simulan el funcionamiento de los procesos del mundo real. Los modelos son abstracciones simplificadas de la realidad, que representan o describen sus más importantes elementos de conducción y sus interacciones. Las simulaciones pueden ser consideradas como modelos que se corren para ciertas condiciones iniciales (reales o diseñadas) (Alzate, 2001).

e. Modelos de datos

• Modelo vectorial

Indica que el modelo vectorial representa los objetos espaciales codificando de modo explícito, sus “fronteras” (el límite o perímetro que separa el objeto del contorno). Las líneas que actúan de fronteras son representadas mediante las coordenadas de los puntos o vértices que delimitan los segmentos rectos que las forman. De este modo, los objetos puntuales (Dimensión topológica) se representa mediante un par de coordenadas, la X y la Y de la posición del objeto (Bosque, 2000).

(Buzai, 2000). Señala que este modelo permite diseñar digitalmente utilizando tres entidades propias de todo mapa: los puntos, las líneas y áreas cerradas (polígonos).

- **Modelo raster**

Indica que el modelo raster centra su interés más en las propiedades del espacio que en la representación precisa de los elementos que lo conforman. Para ello la estructura del espacio en una serie de elementos discretos por medio de una retícula regular, generalmente compuesta por celdas cuadradas, también llamadas “pixel”. Cada una de esas celdas se considera como indivisible y es identificable por su número de fila y columna (Lantada, 2004).

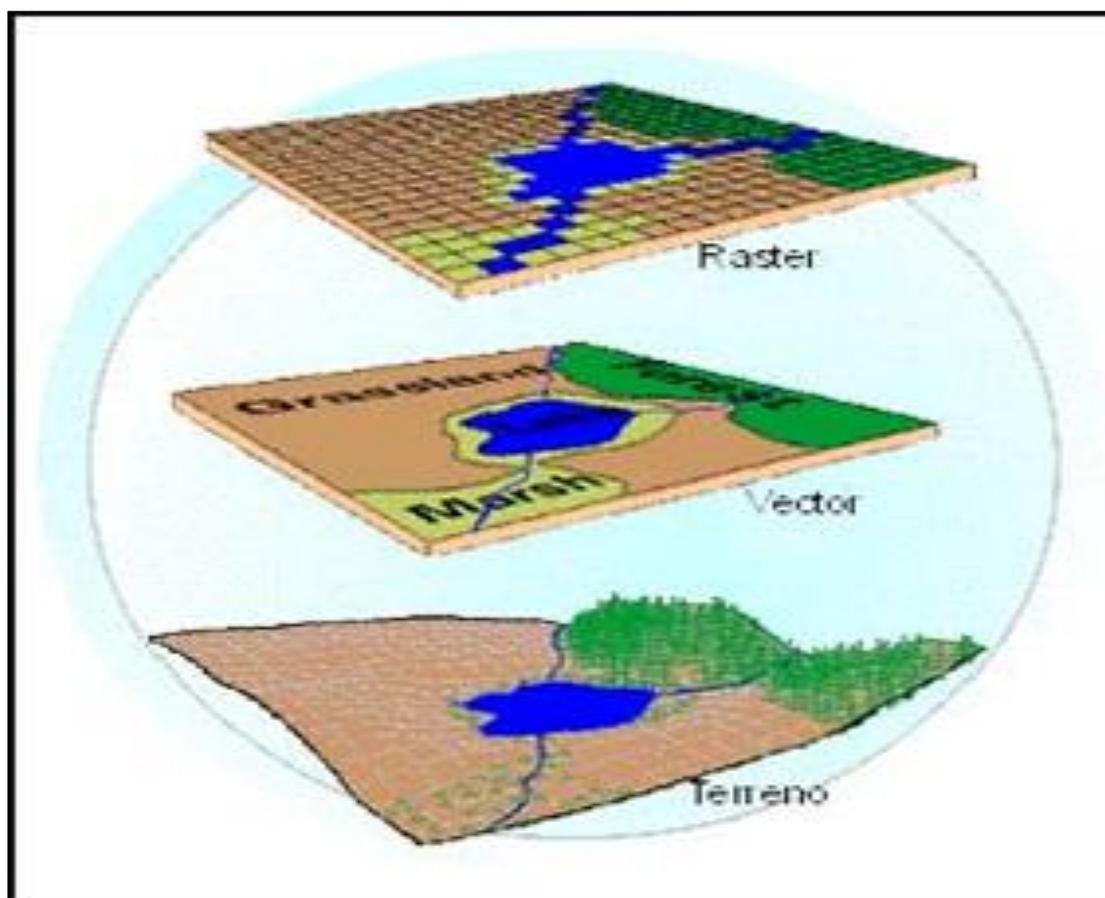


Figura 3. Modelo raster y modelo vector sobre la tierra (Lantada, 2004).

f. Elementos de un proceso de teledetección.

Fuente de energía o iluminación. El primer requerimiento en teledetección es disponer de una fuente de energía que ilumine o provea energía electromagnética al objeto de interés.

Radiación y la atmosfera. Ya que la energía “viaja” desde la fuente al objeto, entra en contacto e interacciona con la atmosfera. Esta interacción tiene lugar una segunda vez cuando la energía “viaja” desde el objeto al sensor.

- Interacción con el objeto. La energía interactúa con el objeto dependiendo de las propiedades de este y de la radiación incidente.
- Detección de energía por el sensor. Necesitamos un sensor remoto que recoja y grabe la radiación electromagnética reflejada o emitida por el objeto y la atmosfera.
- Transmisión, recepción y procesamiento. La energía grabada por el sensor debe ser transmitida, normalmente en forma electrónica, a una estación de recepción y procesamiento donde los datos son convertidos a imágenes digitales.
- Interpretación y análisis. La imagen procesada se interpreta, visualmente o digitalmente, para extraer información acerca del objeto que fue iluminado (o que emitió radiación).
- Aplicación. El paso final en el proceso de teledetección se alcanza en el momento en que aplicamos la información extraída de las imágenes del objeto para un mejor conocimiento del mismo.

g. Tipos de sistemas espaciales de teledetección

Entre las variadas formas de clasificar los sensores remotos, una de las más habituales considera su procedimiento de recibir la energía procedente de las distintas cubiertas. En este sentido, se habla de dos tipos de sensores: pasivos, cuando se limitan a recibir la energía proveniente de un foco exterior a ello. Y los sensores activos, cuando son capaces de emitir su propio haz de energía, el equipo más conocido es el radar bastante aplicado en aplicaciones militares (Chuvieco, 2010).

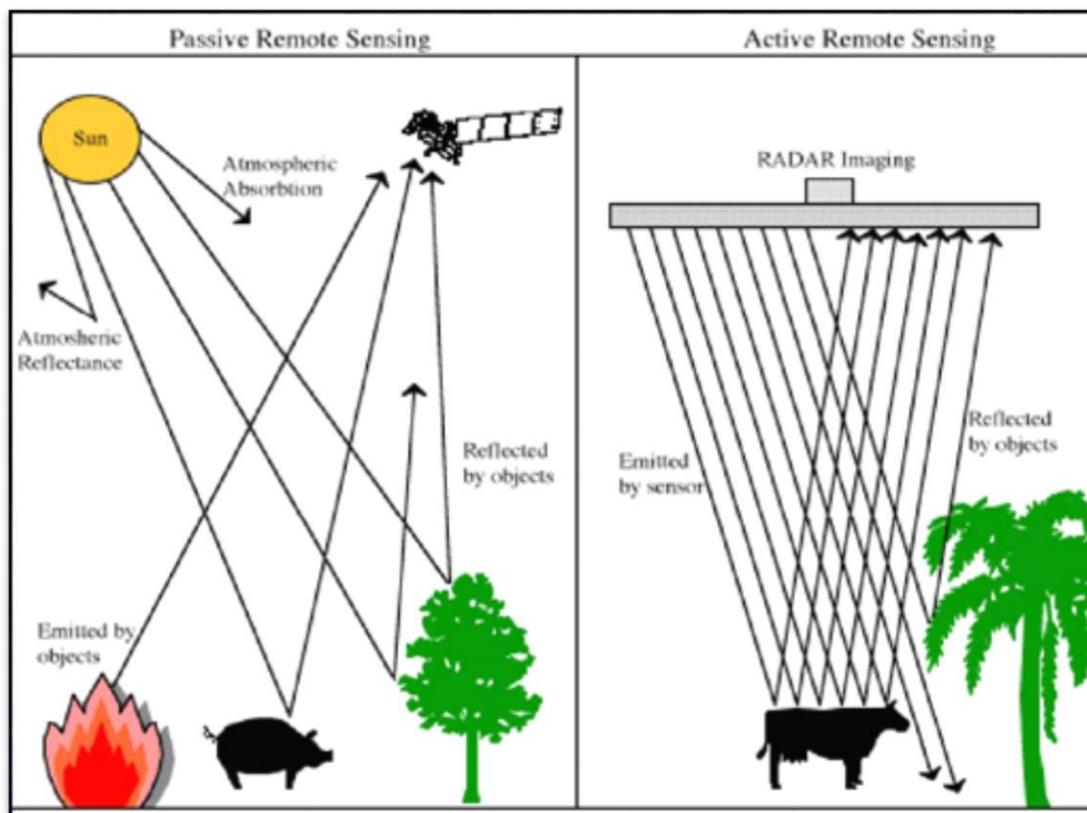


Figura 4. Sensores pasivo y activo usados en teledetección (Chuvieco, 2010).

❖ Resolución de un sistema sensor

De acuerdo con algunos autores, podemos definir la resolución de un sistema sensor como su habilidad para discriminar información de detalle. Esta definición engloba varios aspectos que merecen un comentario más detallado. Por un lado, se habla de resolución de un sistema sensor, indicando que este concepto se refiere al conjunto del equipo y no a cada una de sus partes. Dicho de otra forma, la resolución de un sensor depende del efecto combinado de sus distintos componentes.

Los términos de la definición “discriminar” e “información de detalle” merecen también una breve reflexión. Ambos son relativos al propósito y al entorno geográfico del proyecto que se esté abordando (Chuvieco, 2010).

❖ Resolución espacial

Este término designa al objeto más pequeño que puede ser distinguido sobre una imagen. En un sistema fotográfico, suele medirse como la mínima separación a la cual los objetos aparecen distintos y separados en la fotografía. Se mide en milímetros sobre la foto o metros sobre el terreno y depende de la longitud focal de la cámara y de su altura sobre la superficie.

La resolución espacial de los sensores de observación terrestres en funcionamiento recoge un rango bastante amplio. Los satélites de recursos naturales. Diseñados para adquirir información sobre áreas muy heterogéneas suelen contar con resoluciones de cierto detalle: desde 10 x 10m de sensor SPOT – HRV. Hasta los 120 x 120 m del canal térmico del Landsat – TM. Otro grupo de satélites, orientados hacia aplicaciones más globales, caso del HCMM-HCMR. MOS-VTIR. Nimbus – CZCS o NOAA-AVRR. Facilitan píxeles de un tamaño comprendido entre 500 y 1 100m de lado. En el extremo de este abanico estarían los satélites meteorológicos de órbita geoestacionaria (Meteosat. GOES. GMS) que, al ofrecer una visión global de la superficie terrestre, proporcionan escaso detalle espacial, con píxeles de hasta 5km de lado. En el futuro cercano está previsto el lanzamiento de varios satélites comerciales, que ofrecerán imágenes de muy alta resolución espacial (entre 1 y 4m), los que permitirán ampliar al rango actual de aplicaciones de esta técnica, entrando en dominios anteriormente reservados a los medios aéreos de observación (Chuvienco, 2010).

❖ Resolución espectral

Indica el número y anchura de las bandas espectrales que pueden discriminar el sensor. La información multi – espectral: esto es, de registrar simultáneamente el comportamiento de los objetos en distintas bandas del espectro. En este sentido, un sensor será tanto más idóneo cuanto mayor número de bandas proporcione, ya que facilita la caracterización espectral de las distintas cubiertas. A la vez, conviene que esas bandas sean suficientemente estrechas, con el objeto de recoger la señal sobre regiones coherentes del espectro. Bandas muy amplias suponen registrar un valor promedio que pueden encubrir la diferenciación espectral entre cubiertas de interés (Chuvienco, 2010). Indica entre los sensores espaciales, la menor resolución espectral corresponde al radar y a los sistemas fotográficos. El primero trabaja normalmente en un solo canal, mientras la fotografía puede ofrecer películas pancromáticas. Infrarrojos b/n. color natural o infrarrojo color. Por el contrario, los sensores ópticos – electrónicos ofrecen mayor rango de bandas, desde las 3 del SPOT-HRV (verde, rojo e infrarrojo cercano) hasta del Landsat –TM (azul, verde, rojo infrarrojo cercano, medio y térmico) (Chuvienco, 2010).

❖ Resolución radiométrica

Hace mención a la sensibilidad del sensor, esto es, a su capacidad para detectar variaciones en la radiancia espectral que recibe. En el caso de los sistemas fotográficos, la resolución radiométrica del sensor indica por el número de niveles de gris recogido en la película. Para los ópticos – electrónicos, la imagen habitualmente se presenta en forma

digital, habitualmente se expresa esa resolución en el número de bits que precisa cada elemento de imagen para ser almacenado. Inicialmente, los Landsat – MSS ofrecían un rango de 128 niveles de codificación (7 bits. $2^7 = 128$) por píxel, con 64(6 bits) para el infrarrojo cercano. Actualmente, la mayor parte de los sistemas ofrecen 256 niveles por píxel (8 bits), con la notable excepción del NOAA-AVHRR, que trabaja con 1 024 niveles (10 bits) (Chuvieco, 2010).

❖ **Resolución temporal**

Chuvieco (2010), este concepto alude a la frecuencia de cobertura que proporciona el sensor. En otras palabras, refiere a la periodicidad con la que este adquiere imágenes de la misma porción de la superficie terrestre. El ciclo de cobertura en función de las características orbitales de la plataforma (altura, velocidad, inclinación), así como el diseño del sensor, principalmente del ángulo total de abertura. La cadencia temporal de los sistemas espaciales varía de acuerdo a los objetivos fijados para el sensor. Los satélites meteorológicos están obligados a ofrecer una información en periodos cortos de tiempo, ya que dedican a observar un fenómeno muy dinámico. De ahí que la red de satélites geoestacionarios (Meteosat, GOES, GMS) proporcione una imagen cada 30min. Esta información se complementa con la obtenida a partir de los satélites meteorológicos de órbita polar, como el NOAA, que facilita imágenes cada 12 horas. Por contrario, los satélites de recursos naturales ofrecen una cadencia mucho menor: entre los 16 días del Landsat y los 31 días del ERS.

h. Sensores satelitales

⇒ **Satélite Landsat 7 ETM +**

El Landsat7 es el satélite operacional más reciente del programa Landsat, financiado por el gobierno de los Estados Unidos. El último satélite fue lanzado en abril de 1999 con un nuevo sensor denominado ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus). Su operación es administrada por la NASA (National Space and Space Administration) y la producción y comercialización de imágenes depende de la USGS (United States Geological Survey). Una imagen LANDSAT 7 ETM+ está compuesta por 8 bandas espectrales que pueden ser combinadas de distintas formas para obtener variadas composiciones de color u opciones de procesamiento. Entre las principales mejoras técnicas respecto de su antecesor, el satélite Landsat 5, se destaca la adición de una banda espectral (Banda Pancromática) con resolución de 15 metros. También, cuenta con mejoras en las características geométricas y radiométricas y una mayor resolución espacial de la banda térmica para 60 m. Estos avances tecnológicos permiten calificar al LANDSAT 7 como

el satélite más interesante para la generación de imágenes con aplicaciones directas hasta una escala de 1:25.000, principalmente, en áreas rurales o territorios de grandes extensiones. Las imágenes generadas por el Landsat7 adquiridas mediante el sensor ETM+ presentan una mejor relación costo-beneficio que los datos generados por satélites de resolución media (15 a 30 metros) actualmente ofrecidos en el mercado (GEOSYS, 2008).

⇒ La Órbita del Landsat 7

El Landsat7 puede adquirir imágenes en un área que se extiende desde los 81° de latitud norte hasta los 81° de latitud sur y, obviamente, en todas las longitudes del globo terrestre. Una órbita del Landsat7 es realizada en aproximadamente 99 minutos, permitiendo al satélite dar 14 vueltas a la tierra por día, y cubrir la totalidad del planeta en 16 días. La órbita es descendente, o sea de norte a sur, el satélite cruza la línea del Ecuador entre las 10:00 y 10:15 (hora local) en cada pasaje. El Landsat7 está "heliosincronizado", o sea que siempre pasa a la misma hora por un determinado lugar. Un factor importante es que el período de revolución del Landsat 7 es igual que el del Landsat5 (16 días), y una imagen cubre igual área (185 x 185 km por escena). La conservación de estos parámetros técnicos facilita que el proceso de captura de imágenes se pueda realizar con la misma grilla de referencia (WRS2) lo que permite una perfecta integración entre el procesamiento de las imágenes del Landsat7 con datos históricos del Landsat5 existentes desde 1984. Esto es especialmente útil cuando es necesario utilizar los dos tipos de datos de un mismo lugar en forma simultánea, por ejemplo, para un estudio multitemporal (GEOSYS, 2008).

Tabla 1. Resolución espectral del sensor ETM+ Landsat7. Los valores, expresados en micrones, representan los límites de longitudes de onda a los que es sensible cada banda espectral.

Sensor	banda 1	banda 2	banda 3	banda 4	banda 5	banda 6	banda 7	banda 8
ETM+	0.45	0.53	0.63	0.78	1.55	10h.4	2.09	0.52
	0.52	0.61	0.69	0.90	1.75	12.5	2.35	0.90

Fuente: (Geosys, 2008).

- La banda pancromática - (banda 8)

La banda pancromática es la mayor novedad del sensor ETM+ en el Landsat7. Su

resolución espacial de 15 m registrado con las demás bandas, permite que las imágenes generadas a través de este sensor sean trabajadas para obtener ampliaciones hasta una escala de 1:25.000 (GEOSYS, 2008).

- La banda termal - (banda 6)

El Landsat 7 genera la banda 6 con ganancia baja (Canal 6L) y ganancia alta (Canal 6H). Esto permite varias opciones de análisis y aplicaciones, tales como la medición relativa de temperatura radiante o un cálculo de temperatura absoluta (GEOSYS, 2008).

⇒ Satélite Aster

ASTER (The Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer), es un esfuerzo cooperativo entre la NASA y el Ministerio de Comercio Economía e Industria de Japón METI. En 1999 el instrumento se lanzó a bordo del satélite TERRA de la NASA. El objetivo principal de la misión ASTER es mejorar el entendimiento de los procesos a escala local y regional que ocurren sobre o cerca de la superficie de la tierra y en la atmósfera inferior, incluyendo la interacción superficie-atmósfera. ASTER presenta una órbita heliosincrónica a una distancia de 705 kilómetros, con un ciclo de repetición de 16 días, un ancho de barrido de 60 kilómetros y una distancia entre orbitas de 172 Km. ASTER está compuesto por 3 subsistemas, VNIR, SWIR y TIR; cada uno de cuales presenta características particulares tales como 3 bandas en la región espectral del visible e infrarrojo cercano (VNIR) con una resolución espacial de 15 metros; 6 bandas en la región espectral del infrarrojo de onda corta (SWIR) con una resolución espacial de 30 metros y 5 bandas en el infrarrojo térmico con una resolución espacial de 90 metros, también presenta un telescopio con visión hacia atrás que escanea en la región espectral de la banda 3B, lo que nos permite realizar modelos digitales de terreno (MDT) por pares estereoscópicos (GEOSYS, 2008).

⇒ Modelo de elevación digital

El modelo de elevación se genera de las bandas 3N (Nadir) Y 3B (Back). A partir de estas imágenes se pueden generar DEM relativo (No se utilizan puntos de control) y un DEM absoluto (Utilizando puntos de control) (GEOSYS, 2008).

2.2.12. AGROECOLÓGICA

La agroecología es una disciplina científica que define, clasifica y estudia los sistemas agrícolas desde una perspectiva ecológica y socioeconómica. También se considera que es el fundamento científico de la agricultura orgánica, ya que brinda conceptos y principios ecológicos para analizar, diseñar, administrar y conservar los recursos de los sistemas agrícolas, incorpora ideas sobre una agricultura más ligada al medio ambiente y

más sensible socialmente; centrada no sólo en la producción sino también en la sostenibilidad ecológica del sistema y además ha surgido como un enfoque nuevo al desarrollo agrícola, más sensible a las complejidades de las agriculturas locales, al ampliar los objetivos y criterios agrícolas, para abarcar propiedades de sustentabilidad, seguridad alimentaria, estabilidad biológica, conservación de los recursos y equidad, junto con el objetivo de una mayor producción (Vijaya, 2012).

2.2.13. ZONIFICACIÓN

La zonificación divide la superficie en unidades más pequeñas en base a la distribución de suelo, relieve y clima. El propósito de zonificación, con fines de planificación del uso de los recursos rurales, es separar áreas con similares potencialidades y limitaciones para el desarrollo.

En ese sentido la zonificación maneja de manera integrada bastante información útil al conocimiento de recurso de especies, el análisis de esta metodología. La evaluación del riesgo de degradación de bosques, tierras y/o del manejo de áreas protegidas del área de estudio. La naturaleza del análisis, que implica la combinación de capas de información espacial para definir zonas, se presta muy especialmente a la aplicación de los SIG. Esta técnica, nos proporciona un marco global para la evaluación y planificación de los recursos, ajustado en muchos casos a condiciones diferentes a la nuestra y como parte del proceso de evaluación y planificación y no como una herramienta de análisis netamente espacial con un objetivo diferente al conocimiento de las aptitudes de uso de algunos tipos de uso específicos (Tapia, 2005).

✓ Zonificación agroecológica

La zonificación agro-ecológica (ZAE), de acuerdo con los criterios de FAO, define zonas en base a combinaciones de suelo, fisiografía y características climáticas. Los parámetros particulares usados en la definición se centran en los requerimientos climáticos y edáficos de los cultivos y en los sistemas de manejo bajo los que éstos se desarrollan. Cada zona tiene una combinación similar de limitaciones y potencialidades para el uso de tierras, y sirve como punto de referencia de las recomendaciones diseñadas para mejorar la situación existente de uso de tierras, ya sea incrementando la producción o limitando la degradación de los recursos (FAO, 1997).

2.2.14. MODELO ESTOCÁSTICO

Un modelo estocástico es un conjunto de variables aleatorias que depende de un parámetro o de un argumento. En el análisis de series temporales, ese parámetro es el tiempo. Formalmente, se define como una familia de variables aleatorias e indicadas por

el tiempo (t), tales que para cada valor de t , y tiene una distribución de probabilidad dada. En términos mucho más sencillos, un proceso estocástico es aquel que no se puede predecir. Se mueve al azar.

En el campo de la optimización bajo incertidumbre, las distintas técnicas de programación estocástica; buscan solucionar problemas de asignación de recursos, donde uno o varios parámetros son desconocidos en el momento de tomar la decisión; pero se conoce o se puede estimar por ejemplo, a partir de observaciones previas; su distribución probabilística.

Normalmente las distintas técnicas empleadas, buscan en última instancia reducir el problema estocástico a un problema determinista; que se llama determinista equivalente, cuya solución óptima pasa a considerarse la solución óptima del problema estocástico. Nos centraremos en los modelos de programación estocástica activa o “aquí y ahora” (“here and now”), en los cuales el decisor toma la decisión sin el conocimiento de la realización de las variables aleatorias; solo contando con o pudiendo estimar las distribuciones de probabilidad de las mismas. Dentro de este tipo de modelos se enmarca el problema planteado, existiendo diferentes enfoques para abordar este tipo de problemas (Ferreira, 2012).

2.2.15. MODELAMIENTO

De acuerdo al Decreto de Consejo Directivo N° 010-2006-CONAM, que aprueba la Metodología sobre Zonificación Ecológica Económica - ZEE, el MINAM asume que el modelamiento es “la manipulación interactiva de los mapas a través de diferentes submodelos preparados y organizados de acuerdo a una hipótesis planteada” (MINAM, 2010).

¿Qué representa el modelamiento para la Zonificación Ecológica Económica?

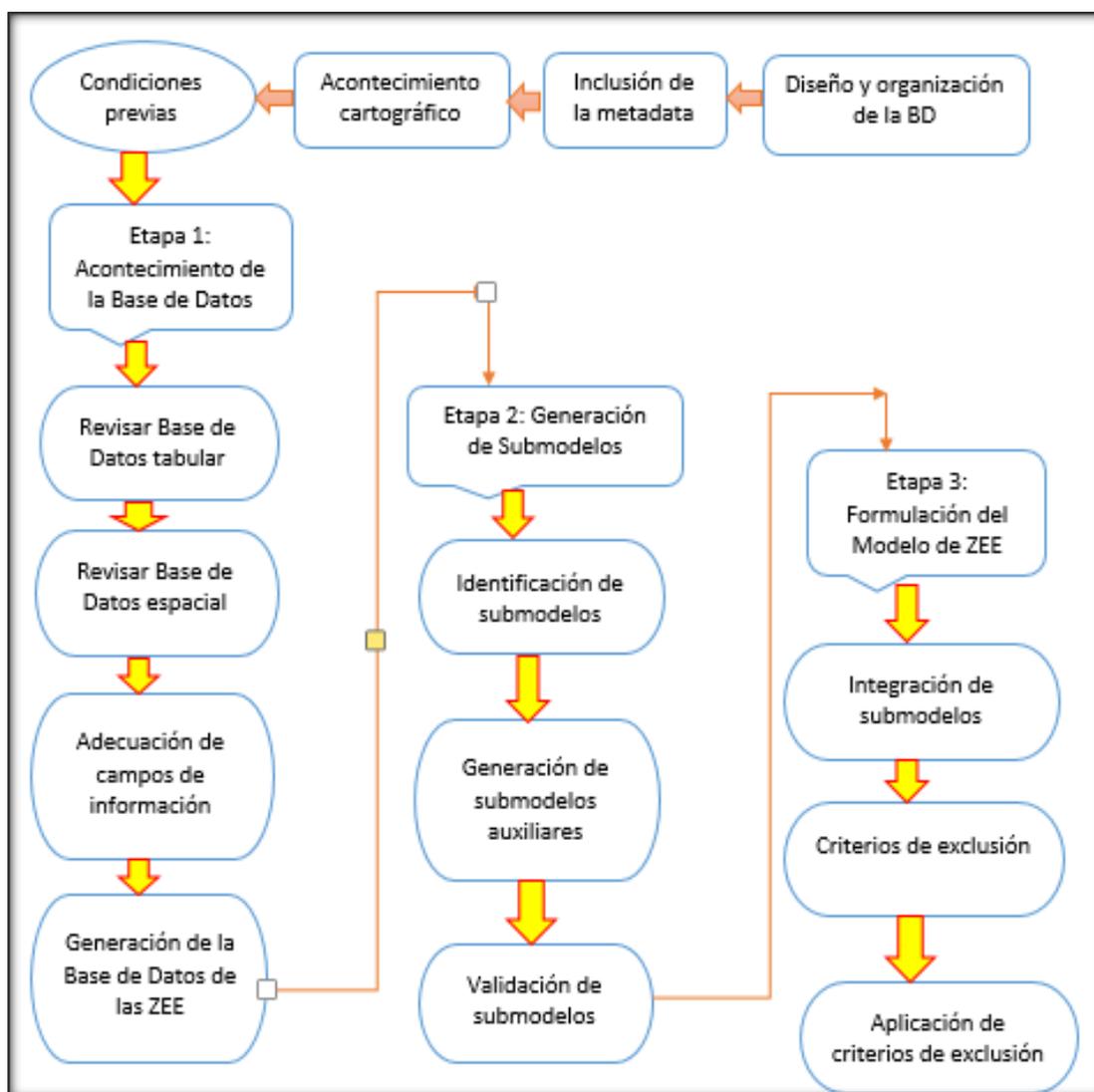
La ZEE viene a constituir una propuesta lograda a partir de la evaluación de los diferentes valores de uso del territorio (modelos) y que a través de la participación y concertación se decide cuáles son las diferentes alternativas de uso, así como, los usos compatibles; de tal manera que se promueve el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales renovables, la gestión responsable de los recursos naturales no renovables y la ocupación ordenada del territorio, sobre la base de las potencialidades y limitaciones del territorio. Por lo tanto, el modelamiento para la zonificación ecológica económica no es meramente la aplicación de un software en particular, o la evaluación de series de capas bajo determinados algoritmos de análisis, o la participación de un especialista SIG; sino que es todo eso y más, en el sentido de que es un espacio de trabajo técnico-participativo,

multidisciplinario y de socialización de resultados en los equipos técnicos, así como la concertación de un producto único y flexible, que es representado en el mapa de ZEE (MINAM, 2010).

- Etapas del proceso de modelamiento

Teniendo en cuenta el concepto de modelamiento y de lo que ello implica, se ha estructurado una secuencia ordenada de etapas, actividades y pasos que deben guiar el proceso de modelamiento (MINAM, 2010).

Las etapas que comprende el proceso de modelamiento son:



Fuente: Guía técnica de modelamiento de Microzonificación de la Región Puno. ZEE-OT

Figura 5. Etapas del proceso de modelamiento

2.2.16. FACTORES AGROECOLÓGICOS PARA LA PRODUCCIÓN DEL CAFÉ

La producción de un cultivo está relacionada con la incidencia de diferentes factores donde se deben considerar:

Clima

Este factor afecta las características del suelo y de la planta. Así tenemos que suelos que reciben alta precipitación se caracterizan por presentar un pH ácido, pobre en nutrientes (efecto del lavado), con presencia de aluminio, arcillas del tipo 1:1, como la caolinita y otras propiedades.

En el caso de las plantas, este factor va a afectar las etapas fenológicas, así tenemos que el café se produce en condiciones templadas y calientes, por lo que indica que es un cultivo de climas Tropicales y subtropicales, pero la calidad de los productos varían con la temperatura, así tenemos que temperatura mayores de 23°C a 25°C, reducen la calidad, siendo las óptimas entre 18 a 22°C aun cuando hay bibliografías que nos indican entre 20 y 25°C, indicándose que en este rango no es requerida la sombra, sin embargo esta es empleada como parte del manejo de la plantación.

Si la temperatura reduce la calidad del café, el efecto del sobre calentamiento de la tierra, afecta esta producción, por lo que el cultivo puede ir desplazándose hacia la altura a fin de obtener temperaturas más adecuadas. La menor temperatura y menor humedad favorece el factor de calidad, considerándose que la humedad aumenta la cantidad, pero no la calidad.

El clima va a afectar directa e Indirectamente la incidencia de plagas y enfermedades, las mismas que afectan la producción y la calidad del producto obtenido (Loli, 2012).



Fuente: Guía técnica análisis de suelos y fertilización en el cultivo de café (Loli, 2012)

Figura 6. Desplazamiento del cultivo de café por cambio climático

a. Precipitación

La precipitación requerida fluctúa entre 1500 a 2500 mm, pero requiere de un abastecimiento constante para un correcto crecimiento del cafeto, por lo que se requieren por lo menos 120 milímetro al mes, la altitud más adecuada fluctúa entre 1000 a 1500 msnm Las zonas cafetaleras en el Perú: van de 600 a 1 600 msnm, zona baja: 600 a 900 msnm, zona media: 900 a 1 200 msnm y zona alta: 1 200 a 1 600 msnm. Se requiere también un aire húmedo y con vientos de reducida fuerza. La luminosidad y de horas de luz presenta importancia en la producción, así a mayor luminosidad se obtiene mayor producción, pero con un buen abonamiento. Normalmente el brillo solar en la zona cafetera se encuentra entre 1.600 y 2.000 horas de sol al año (4.6 - 6.8 horas de sol al día). De la misma manera bajo condiciones de buen manejo y en forma oportuna, bajo condiciones de clima nublado se puede producir (Loli, 2012).

b. Temperatura

La temperatura también influye en los procesos de infección, colonización, esporulación, sobrevivencia de los patógenos. También en los procesos fisiológicos de la planta, como fotosíntesis, evapo-transpiración, metabolismo entre otros.

c. Suelo

El suelo se debe seleccionar en base a su drenaje y permeabilidad, así como su potencial nutricional, desde este punto de vista se debe tener en cuenta los suelos de ladera que

normalmente son pobres nutricionalmente. Teniendo estas consideraciones, se debe seleccionar un suelo suelto (buen drenaje), con pendientes menores de 30% (potencial nutricional), de buena profundidad (Loli, 2012).

- Textura

Esta referida a concentración porcentual de arena, limo y arcilla.

- Las más pequeñas se llaman arcillas.
- Las más grandes reciben el nombre de arenas.
- Las que tienen un tamaño intermedio entre las arcillas y las arenas se llaman limos.
- La cantidad o porcentaje en que se encuentran dichas partículas en un suelo, determina su textura.
- Dependiendo de los granos o partículas que estén en mayor número en el suelo, se puede hablar de suelos con textura arenosa (>70% de arena), arcillosa (> 40 % de arcilla) o franco (< 70% de arena y < 40% de arcilla).
- Los mejores suelos para cultivar café son los llamados francos.
- Cada textura le da propiedades particulares al suelo, en cuanto al drenaje o porosidad y se puede proyectar respecto a la concentración de nutrientes.



Figura 7. Condiciones físicas del suelo (Loli, 2012).

- Estructura

- ✓ Es la forma como se agrupan las partículas o granos del suelo y es determinante para el crecimiento y penetración de las raíces, al incidir sobre la porosidad va a influenciar en la concentración de aire y de agua presente en los suelos, paralelamente reduce el riesgo a la erosión.
- ✓ Es de gran importancia en la permeabilidad del suelo, en la facilidad para trabajarlos y en la resistencia a la erosión.
- ✓ La estructura se puede mejorar o dañar con las labores de cultivo.
- ✓ La mejor para el cafeto es la de tipo granular.

- Porosidad y Permeabilidad

Al agruparse los granos o partículas del suelo para formar terrones, quedan entre ellos espacios de tamaño variable denominados poros, que son ocupados por el agua y el aire. La permeabilidad se refiere a la velocidad con la que el agua y el aire circulan o se mueven a través de los poros del suelo.

Los suelos arenosos son de permeabilidad alta y los arcillosos, de baja permeabilidad.

Los mejores suelos para el café son los francos, en los cuales la permeabilidad es moderada.

- Reacción del suelo (pH)

- El conocimiento del valor del pH de un suelo es de gran utilidad para el manejo de una buena fertilización; valores entre 5.0 y 5.5 son considerados adecuados para el café, puesto que allí se da cierto grado de actividad de microorganismos que mineralizan materia orgánica para dejar disponibles la mayoría de los nutrientes para las plantas, especialmente N- P - S - y elementos menores.
- Si el pH es inferior a 5.0, puede haber toxicidad por aluminio o por manganeso o deficiencias de P - Ca - Mg - K - B - Cu. Zn. Si el pH es superior a 5.5, pueden ocurrir deficiencias de P-B-Fe-Cu-Zn.
- Lo anterior permite afirmar que si se conserva el pH del suelo entre 5.0 y 5.5, y, además, se hace uso de la materia orgánica descompuesta, no habrá problemas de elementos menores ni de azufre en el cafetal.

- Materia Orgánica

La materia orgánica juega un papel fundamental en la caficultura como componente integral de fertilidad física y química del suelo, por consiguiente en suelos con buenos

contenidos naturales de M.O. existe un plus grande en el camino de la alta productividad, sin embargo concurre la posibilidad de mejorar los contenidos de materia orgánica en el suelo cuando estos son bajos, por medio del sombrero, los abonos verdes, las diferentes aplicaciones de materia orgánica comercial y/o compost en la finca y el manejo integrado de arvenses.

2.2.17. VARIABLES BIOFÍSICAS PARA EL CULTIVO DE CAFÉ

a. Fisiografía

(Villota, 1997). El análisis fisiográfico consiste en un método moderno para interpretar imágenes de la superficie terrestre, que se basa en la relación paisaje-suelo.

Clasificación fisiográfica del terreno es un sistema de clasificación que posibilita estudiar cualquier zona rural desde el punto de vista biofísico, de manera jerárquica, de lo general a lo particular; la clasificación se utiliza en el análisis fisiográfico de imágenes de sensores remotos a diferente escala y para múltiples niveles de detalle de los levantamientos en los que se utilice. De acuerdo con Villota (1992), este sistema tiene una estructura piramidal, en cuyo vértice se ubica la categoría denominada geo estructura, correspondiente a los territorios geológicos mayores en un continente: cordillera de plegamiento, escudo o cratón; megacuenca de sedimentación, entre otros. Las cinco categorías o niveles jerárquicos de esta metodología son:

- * Provincia fisiográfica
- * Unidad climática
- * Gran paisaje
- * Paisaje
- * Sub paisaje.

b. Zona de vida

(Holdridge, 1971). Es un esquema para la clasificación de las diferentes áreas terrestres según su comportamiento global bioclimático, es un sistema de clasificación ecológica realmente útil debe tener límites bien definidos, ser sensible a los pequeños cambios que ocurren en la vegetación (muchas veces a corta distancia), ya sea en uno o varios de los factores ambientales que afectan el desarrollo o la presencia de los ecosistemas. También, el sistema debe reconocer los cambios introducidos por el efecto del hombre o de los animales y corresponder a unidades naturales discretas de tal forma que puedan diferenciarse las unidades en el campo, ya sea con su vegetación original o donde esta haya sido alterada fuertemente. Asimismo, para que un sistema ecológico tenga

aplicación mundial, debe estar definido por factores con aplicación en este mismo nivel y ser fácilmente obtenible en el mismo formato e idéntica exactitud.

c. Capacidad de uso mayor (CUM)

Mediante el decreto supremo N° 017 – 2009-AG se aprueba el reglamento de clasificación de tierras por su capacidad de uso mayor, cuya finalidad es promover y difundir el uso racional continuado del recurso suelo con el fin de conseguir de este recurso el óptimo beneficio social y económico dentro de la concepción y principios del desarrollo sostenible. Evitar la degradación de suelos como medio natural de producción y fuente natural, además de no comprometer la estabilidad de las cuencas hidrográficas y la disponibilidad de los recursos naturales que la conforman el art.9° establece: las categorías del sistema de clasificación de tierras según su capacidad de uso mayor, la misma que está conformada por 03 categorías de uso, grupo de capacidad de uso mayor, clase de capacidad de uso mayor, sub clase de capacidad de uso mayor.

d. Suelo

Su definición es muy compleja y depende del enfoque que se le dé. Agronómicamente, el suelo es considerado como un cuerpo natural dinámico, compuesto de una masa de material inorgánica, que contiene dos coloides de naturaleza inorgánico y orgánico, animales y plantas muertos y vivos, agua y gases en cantidades variables y de alguna forma balanceada; que permiten el crecimiento de las plantas (Herrera, 2010).

e. Uso actual de tierras (UAT)

El estudio consiste en identificar, delimitar y representar cartográficamente mediante el uso de las clases dadas por la leyenda CORINE Land Cover la distribución espacial de los principales tipos de cobertura y uso del territorio. Es una metodología para la construcción de mapas de cobertura y uso de la tierra. Emplea una leyenda jerárquica, que vincula distintos niveles de detalle espacial con distintos niveles de detalle temático (COVER, 2010).

f. Conflictos de uso de tierra

(Ordenamiento, 2002), indica que para la definición de los conflictos de uso se ha definido que cuando la tierra es utilizada de acuerdo a su capacidad se dice que está en uso adecuado, en el caso contrario está en conflicto. Se pueden tener dos tipos de conflictos, el primero se da cuando la actividad que se está realizando es de mayor intensidad a la que la tierra puede soportar en este caso el conflicto es el sobreuso, el segundo caso es el subuso que se da cuando la tierra se utiliza por debajo de su potencial. Por ejemplo tendríamos un sobreuso en una zona

agrícola que está en pendientes fuertes porque provoca un alto grado de erosión, esta actividad sobrepasa la capacidad de la tierra para mantener el suelo con un grado de erosión aceptable.

g. Clima

(Thorntwaite, 1948). Se basa en dos conceptos la evapotranspiración potencial y en el balance de vapor de agua. Para elaborar sus criterios de clasificación utiliza cuatro criterios básicos:

- Índice global de humedad
- Variación estacional de la humedad efectiva
- Índice de eficiencia térmica y
- Concentración estival de la eficacia térmica.

(Thorntwaite y Hare, 1955). La evapotranspiración potencial (ETP) se determina a partir de la temperatura media mensual, corregida según la duración del día. El exceso o déficit se calcula a partir del balance de vapor de agua, que se obtiene a partir de la humedad (I_m), y la ETP. Ello nos permite definir los tipos de clima, los cuales presentan diferentes subtipos en función las variaciones de la ETP que se produce en cada estación del año. Thornthwaite establece dos clasificaciones una en función de la humedad, y otra en función de la eficacia térmica.

- Influencia de altitud en la calidad del café

• Altitud

La altitud modifica las características físicas del grano, el café de altura es de un color verde gris azulado, de menor tamaño, pero más denso y con una ranura irregular y cerrada, mientras tanto el café de poca altura en verde pálido, con una ranura abierta, regular y es menos denso (Vaast, 2005).

El café cultivado a mayor altitud suele desarrollar más atributos positivos, tales como acidez y roma, definiendo así un mejor sabor y la calidad de la bebida (Vaast, 2005).

Tabla 2. Tipos de cafés producidos en el Perú según la altitud.

Tipos de Cafés (Taza)	Altitud
Cafés de excelencia, los más finos del mundo	1400 a 1950 msnm
Cafés de muy buena calidad	1300 a 1400 msnm
Cafés de buena calidad	1200 a 1300 msnm
Cafés de calidad	1000 a 1200 msnm
Cafés estándares	menores de 1000 msnm
Cafés de mala calidad	< 500 msnm

Fuente: (Sánchez, 2011).

- **Café de altura**

Café que ha sido cultivado en regiones montañosas y en alturas mayores a 1,200 metros sobre el nivel del mar (NTP 209.027, 2001).

El café arábico de altura (sobre 1.200 m.s.n.m.) es de mejor calidad que el café producido en zonas de menor altura y es cotizado internacionalmente a mejores precios. Los importadores de café orgánico buscan por lo general cafés de altura, no obstante, la altura no es el único factor que influye en la calidad del café. Otros criterios que inciden favorablemente sobre el precio son cafés arábigos preferentemente Typica o Nacional, (Fischersworing, 2001) Bourbón, Pacha o Caturra, por supuesto beneficiados por la vía húmeda (Fischersworing, 2001).

- **Café de zona baja**

Café que ha sido cultivado en regiones debajo de los 1200 metros sobre el nivel del mar (NTP 209.027, 2001).

- Niveles de zonificación

- **Macrozonificación**

Señala que la macro zonificación es aplicada a nivel nacional, macro-regional, regional y a nivel de provincias, cuencas hidrográficas y otros ámbitos espaciales con superficies relativamente grandes, delimitando grandes unidades espaciales en el territorio, definidos con criterios: físicos, biológicos, sociales, económicos y culturales. También puede ser tomada como referencia para definir prioridades espaciales en los otros niveles de mayor acercamiento espacial (meso y microzonificación).

La cartografía aplicable a los estudios del medio biofísico de grandes ecosistemas y paisajes, corresponde a una escala de trabajo menor o igual a 1: 250 000. Mientras que la

información socioeconómica debe corresponder, por lo menos a las unidades espaciales provinciales o distritales, según las características de cada territorio. Así también el grado de participación a este nivel involucra las diversas instituciones públicas y representantes de las organizaciones de la sociedad civil (Minam, 2010).

- **Mezozonificación**

Señala que la mezosonificación puede ser aplicada a nivel regional, provincial y distrital, a nivel de cuencas hidrográficas y otros ámbitos espaciales con superficies relativamente no muy grandes, incluyendo el área de influencia de zonas metropolitanas, delimitando unidades espaciales del territorio a semi detalles, con los mismos criterios de la macro zonificación. A su vez es marco de referencia para definir prioridades espaciales a nivel de microzonificación.

La aplicación cartográfica para los estudios del medio biofísico (grandes ecosistemas y paisajes) corresponde a una escala de trabajo mayor o igual a 1:100 000, cuyas unidades espaciales para la información socioeconómica deben corresponder a los distritos o micro cuencas.

El grado de participación dependerá de las instituciones públicas y privadas con actuación directa en el territorio comprometido, en especial los Gobiernos Provinciales y Distritales, las instancias territoriales del Gobierno Regional y Direcciones Sectoriales, ONGs, asociación de productores, comunidades campesinas e indígenas, gremios empresariales, medios de comunicación, entre otros (Minam, 2010).

- **Microzonificación**

Tiene por propósito, generar información sobre las potencialidades y limitaciones del territorio que sirva de base para la elaboración, aprobación y promoción de los proyectos de desarrollo, planes de manejo en áreas y temas específicos en el ámbito local. Igualmente, contribuye al ordenamiento y/o acondicionamiento territorial, así como al plan de desarrollo urbano y rural. Cobertura espacial: áreas específicas de interés (PCM, 2004).

Menciona que la microzonificación se aplica a nivel local, en ámbitos espaciales con superficies relativamente pequeñas, incluyendo el área de influencia de zonas urbanas, delimitando unidades espaciales del territorio a nivel de detalle, con criterios biofísicos, a nivel de atributos específicos del paisaje, y criterio socioeconómico, a nivel de área de influencia de centros poblados o comunidades.

El nivel micro es más detallado y está orientado a identificar los usos existentes y potenciales, para definir los usos específicos en determinadas áreas donde se requiere de

información más precisa. Al igual que la macro y mesozonificación, permite generar información sobre las potencialidades y limitaciones del territorio, para la elaboración, aprobación y promoción de los proyectos de desarrollo, planes de manejo en áreas y temas específicos en el ámbito local. Igualmente, contribuye al ordenamiento y/o acondicionamiento territorial, así como al plan de desarrollo urbano y rural.

La cartografía aplicable a estudios del medio biofísico corresponde a una escala de trabajo mayor o igual a 1:25 000, depende de la extensión y de las características del área de estudio. Así también las unidades espaciales para la información socioeconómica, debe corresponder a los centros poblados.

En el caso de las zonas marino costeras, la unidad espacial de análisis socioeconómica será diferenciada en concordancia a las actividades desarrolladas en este ámbito (Minam, 2010).

2.3. MARCO CONCEPTUAL

2.3.1. Clasificación práctica del uso actual del suelo

Dice, que consiste en el registro sobre el uso presente o actual del suelo. Es considerada en agrupamiento auxiliar interpretativa, debido a que no da predicciones precisas sobre la potencialidad de uso de los suelos (Herrera, 2010).

UGI (1957), la Unión Geográfica Internacional, propone y establece la clasificación de las categorías de uso, que está distribuida de la siguiente manera (Tabla 3).

Tabla 3. Clasificación del uso actual de tierras según categorías de uso actual.

Categoría de uso	Sistema de Clasificación UGI Categorías de uso actual
1	Terrenos urbanos y/o instalaciones gubernamentales.
2	Terrenos con hortalizas
3	Terrenos con huertos frutales y otros cultivos permanentes
4	Terrenos con cultivos extensivos.
5	Praderas permanentes mejoradas.
6	Praderas naturales
7	Terrenos de bosque.
8	Terrenos húmedos
9	Terrenos sin uso y/o improductivos

Fuente: (UGI, 1957)

2.3.2. Clasificación por capacidad de uso mayor

Fue adoptada por el Ministerio de Agricultura del Perú a través del Departamento de Tierras y Aguas.

Según DS- 017- 2009 AG (2009), Esta categoría representa la más alta abstracción, agrupando suelos de acuerdo a su vocación máxima de su uso. Reúne los suelos que presentan características y cualidades en cuanto a su aptitud natural para la producción. El sistema establece los siguientes grupos de Capacidad Mayor de las tierras:

- **Tierras aptas para el cultivo en limpio (símbolo A).** Reúnen condiciones ecológicas que permiten la remoción periódica y continuada del suelo para el sembrío de plantas herbáceas y semiarbustivas de corto periodo vegetativo, bajo técnicas económicamente accesibles a los agricultores del lugar, sin deterioro de la capacidad productiva del suelo, ni alteración del régimen hidrológico de la cuenca. Estas tierras por su alta calidad agrológica podrán dedicarse a otros fines (cultivos permanentes, pastos, producción forestal y protección), cuando en esta forma se obtenga un rendimiento económico superior al que obtendría de su utilización con fines de cultivo en limpio o cuando el interés social del Estado requiera.

- **Tierras aptas para cultivo permanente (símbolo C).** Son aquellas cuyas condiciones ecológicas no son adecuadas a la remoción periódica (no arables) y continuada del suelo, pero que permiten la implantación de cultivos perennes, sean herbáceas, arbustivas o arbóreas (frutales principalmente); así como forrajeras, bajo técnicas económicas accesibles a los agricultores del lugar, sin deterioro de la capacidad productiva del suelo ni alteración del régimen hidrológico de la cuenca. Estas tierras podrán dedicarse a otros fines (pastos, producción forestal y protección), cuando en esta forma obtenga un rendimiento económico superior al que se obtendría de su utilización con fines de cultivos permanente o cuando el interés social del estado requiera.

- **Tierras aptas para pastos (símbolo P).** Son aquellas que reúnen las condiciones ecológicas mínimas requeridas para cultivos en limpio o permanentes, pero que permiten su uso continuado o temporal para el pastoreo, bajo técnicas económicamente accesibles a los agricultores del lugar, sin deterioro de la capacidad productiva del recurso, ni alteración del régimen hidrológico de la cuenca. Estas tierras podrán dedicarse para otros fines (producción forestal y protección), cuando en esta forma se obtenga un rendimiento económico superior al que se obtendría de su utilización con fines de pastoreo o cuando el interés social del Estado lo requiera.

- **Tierras aptas para producción forestal (símbolo F).** No reúne las condiciones ecológicas requeridas para su cultivo o pastoreo, pero permiten su uso para la producción de maderas y otros productos forestales, siempre que sean manejadas en forma técnica para no causar deterioro en la capacidad productiva del recurso ni alterar el régimen hidrológico de la cuenca. Estas tierras podrán dedicarse a protección cuando el interés social y económico del Estado requiera.

- **Tierras aptas para protección (símbolo X).** Están constituidas por aquellas que no reúnen las condiciones ecológicas mínimas requeridas para cultivos, pastoreo, producción forestal. Se incluyen dentro de este grupo: picos, nevados, pantanos, playas, cauces de ríos y otras tierras que, aunque presentan vegetación natural boscosa, arbustiva o herbácea, su uso no es económico y deben ser manejados con fines de protección de cuencas hidrográficas, vida silvestre, valores escénicos, científicos, recreativos y otros que impliquen beneficio colectivo o de interés social. Aquí se incluyen los parques Nacionales y reservas de biosfera.

2.3.3. Clases de calidad agrológica de capacidad de uso mayor

Según el Decreto Supremo N° 017-2009- AG, las clases de capacidad son agrupaciones de los suelos en base a su calidad agrológica, que refleja la potencialidad y grado de amplitud de las limitaciones para uso agrícola.

Clases de calidad agrológica de las tierras aptas para cultivo en limpio. Se establece las siguientes clases: A1, A2, A3. Las limitaciones o riesgos se incrementan progresivamente de la clase A1 a la A3.

- **Clase de calidad agrológica Alta (A1).** Agrupa los suelos de más calidad agrológica del sistema, con ninguna o muy pocas limitaciones que restrinjan su uso. Permiten un amplio cuadro de cultivos agronómicos y son muy fáciles de trabajar, de excelente productividad y que requieren de prácticas de manejo sencillas o de mantenimiento de las buenas condiciones de fertilidad y productividad.

- **Clase de calidad agrológica Media (A2).** Los suelos en esta clase presentan algunas limitaciones de orden edáfico, topográfico, de inundabilidad o climático, pudiendo reducir un tanto el cuadro de cultivos, así como la capacidad productiva. Requieren de prácticas moderadas de manejo y de conservación de suelos para prevenir su deterioro o mejorar las relaciones agua – aire. Las prácticas de manejo son por lo general fáciles de aplicar.

- **Clase de calidad agrológica Baja (A3).** Los suelos en esta clase presentan limitaciones serias vinculadas a los factores edáficos, topográficos, de inundabilidad o

climáticos que reducen marcadamente el cuadro de cultivos intensivos o en limpio. Requieren de prácticas más intensas y, a veces, especiales de conservación para mantener producciones económicamente continuadas. En general los riesgos por inundación fluvial involucran los aspectos de frecuencia, penetración o amplitud del área inundada y duración de la misma, afectando la integridad física de los suelos por efecto de la erosión lateral y comprometiendo seriamente el cuadro de cultivos a fijarse.

Clases de calidad agrológica de las tierras aptas para cultivos permanentes. Se establecen las siguientes clases; C1, C2 y C3, las limitaciones de uso se incrementan progresivamente de la clase C1 a la C3. Bajo apropiados sistemas de manejo, son capaces de producir rendimientos económicos continuados de frutales o especies industriales adaptadas o nativas.

Clases de calidad agrológica de las tierras aptas para pastos. Se establecen las siguientes clases de potencialidades: P1, P2 y P3. La calidad agrológica de estas tierras disminuye progresivamente de la clase P1 a la P3.

Clases de calidad agrológica de las tierras aptas para producción forestal. Se establecen las siguientes clases de aptitud: F1, F2 y F3. La calidad agrológica de estas tierras disminuye progresivamente de la clase F1 a la F3.

2.4. MARCO LEGAL

- Decreto Supremo N° 087-2004-PCM, Reglamento de Zonificación Ecológica y Económica (ZEE).
- Decreto Supremo N° 007-2008 – MINAM
- Decreto Supremo N° 017-2009-AG, reglamento de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso Mayor.
- Ordenanza Regional N° 36-2006-GRP/CR, establece el Proceso (ZEE) en la Región Puno.
- III Plan Operativo Bienal Zonificación Ecológica Económica y Ordenamiento Territorial 2011-2013, y de acuerdo al reglamento de organización y funciones del MINAM, Decreto Legislativo N° 1013, señala que la Dirección General de Ordenamiento Territorial, es responsable de promover los procesos de ZEE y OT en el país, y hacer el seguimiento respectivo a través del Plan Operativo Bienal de Zonificación Ecológica Económica y Ordenamiento Territorial, que tiene por finalidad orientar y planificar los procesos que se desarrollan a nivel nacional.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. MATERIALES

3.1.1. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

- **Ubicación**

El área de estudio del presente proyecto de investigación se desarrolló en el Centro de Investigación y Producción Tambopata de la Universidad Nacional del Altiplano - Puno que está situado en el distrito de San Juan del Oro de la Provincia de Sandía, departamento de Puno.

- País : Perú
- Región : Puno
- Provincia : Sandía
- Distrito : San Juan del Oro.

- **Ubicación Geográfica**

Para la ubicación geográfica se ha tomado datos con un GPS navegador cuyas coordenadas es:

- UTM 19s : WGS84 DATUM
- Coordenada X : 0482213 mW
- Coordenada Y : 8427398 mS
- Altitud : 1384 m.s.n.m.
- Latitud Sur : 14°12'13.96"
- Latitud Oeste : 69°8'49.48"
- Zona agroecológica : Selva alta
- Región natural : Selva

3.1.2. HERRAMIENTA Y EQUIPOS

3.1.2.1. Recursos materiales.

De campo

- **Materiales**

Lapiceros, libreta de apuntes, marcadores (esmaltes, brocha).

- **Herramientas**

Machetes, linternas, botas de jebe, poncho impermeable, bolsa de dormir.

- **Instrumentos y Equipos**

Navegador GPS, brújula, cámara fotográfica digital (sony).

- **Logística**

Camioneta, motocicleta.

De gabinete

- **Materiales**

Papel bond A4 de 80 g, lapiceros, lápices.

- **Instrumentos y Equipos**

Computadora, impresora, escáner.

- **Imágenes**

Imagen LANDSAT 5, 7, 8 con resolución de 30m

Imagen ASTER con resolución 15m

- **Material cartográfico**

Carta nacional. Escala 1:100,000

- **Software**

Microsoft Windows 10, Microsoft office 2016, ArcGIS version 10.3.

Materiales para Adquisición de las bandas de satélite Landsat7 ETM+

Etapas de trabajo

3.1.3. Adquisición de las bandas de satélite IMG_RAPIDEYE_2012

a) Materiales

Bandas 5, 4, 3 (RGB): En esta combinación la vegetación aparece en distintos tonos de color verde.

Explicación de la combinación para el estudio de vegetación

- **Banda 5.-** Zona del espectro (**Infrarojo medio**), es utilizado para evapotranspiración, determinar el uso del suelo, mediadas de humedad de la vegetación, diferenciación entre nubes y nieve.
- **Banda 4.-** Zona del espectro (**Infrarojo cercano**), utilizado para determinar la biomasa, delineamiento de cuerpos de aguas, mapeo geomorfológico, mapa geológico, áreas de incendios y áreas húmedas.
- **Banda 3.-** Zona del espectro (**rojo, luz visible**), indicador de la reflectancia de la clorofila, diferenciación de especies vegetales, áreas urbanas, uso del suelo, agricultura y calidad de agua.

b) Equipo

- ❖ GPS Navegador MAP76 CSs
- ❖ Softwares (Microsoft office word, excel y power point)
- ❖ Erdas imagine 9.2
- ❖ ArcGIS 10.3
- ❖ MapSource

3.2. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Para el proceso de zonificación y modelación agroecológica en cumplimiento de los objetivos planteados, se inició con la delimitación y reconocimiento del área total y áreas cultivadas del CIP - Tambopata. Con dicha información se procedió a la utilización de la herramienta SIG para la integración de la información recopilada en el ámbito real (Figura 8).

- Etapas de trabajo

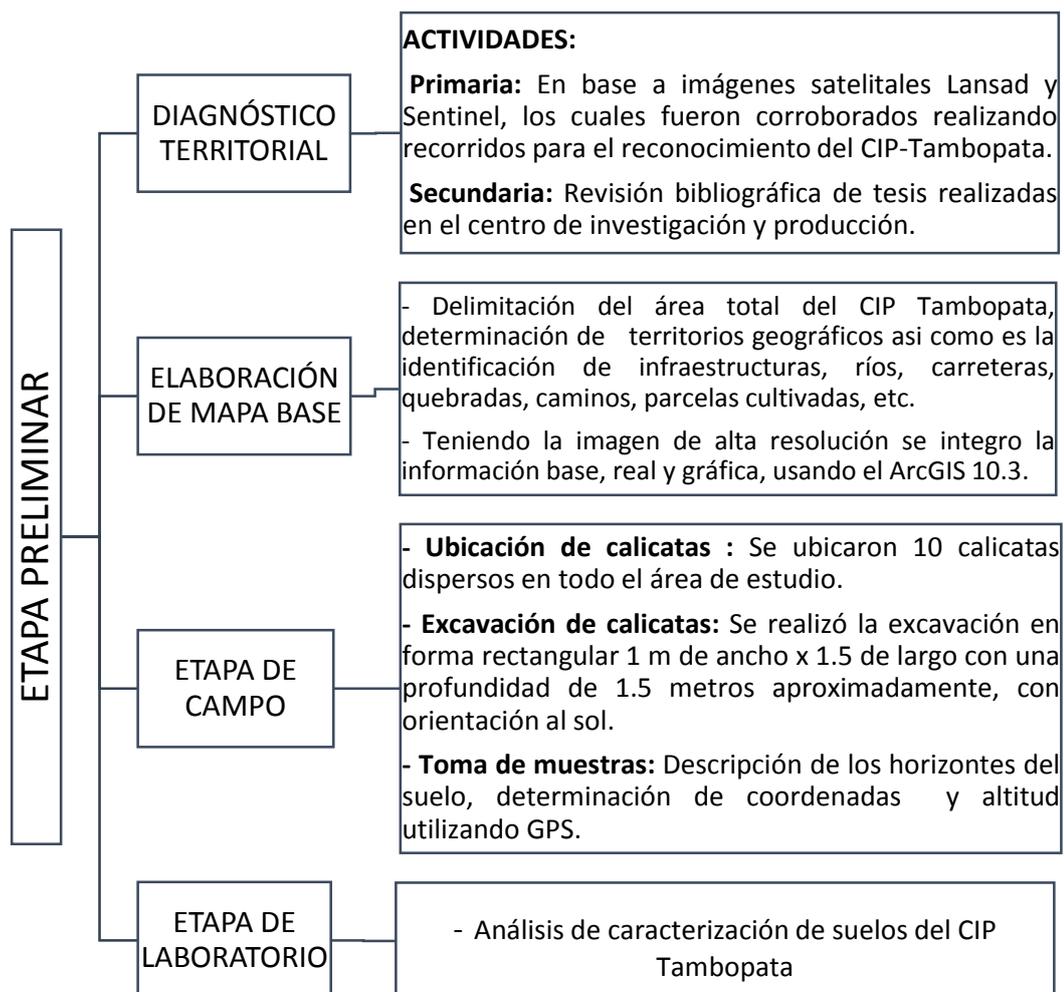


Figura 8. Fases de la metodología para la elaboración de la etapa preliminar

3.2.1. Etapa preliminar

a) Diagnóstico territorial

Este diagnóstico nos permitió conocer la situación íntegra del CIP – Tambopata, con todos sus componentes y elementos. Para realizar el estudio se empezó con información secundaria y primaria. Dicha información secundaria se obtuvo mediante proyectos de investigación boletines, libro, publicaciones, revistas, artículos científicos y otras publicaciones. La información primaria se obtuvo mediante actividades realizadas en el mismo campo de investigación e imágenes satelitales que fueron de gran ayuda para la ubicación correcta de las calicatas y así como también de las parcelas. En esta etapa se recopiló información valorizada ya que se pudo dar avance a la investigación.

b) Elaboración del mapa base

El mapa base es un elemento indispensable y predominante que recopila los datos clave para ofrecer una base reutilizable para diversos mapas.

Para la realización de este proyecto se inició con la elaboración del mapa base de todo el predio del CIP - Tambopata, dicho mapa nos sirvió para obtener los mapas temáticos a realizarse para el modelamiento. La realización de la cartografía base se comenzó con la verificación de los puntos más importantes del área de estudio, y de esa manera poder establecer el área exacta sobre el cual se trabajó todos los temáticos de acuerdo a las variables en el software ArcGIS, así también con la ayuda de los trabajadores del CIP - Tambopata se pudo ubicar la carretera, los caminos, ríos, riachuelos, nombres de las parcelas, etc. Sobre la imagen satelital Sentinel 2 obtenida del Google Earth, lo cual nos permitió localizar las calicatas en las unidades fisiográficas.

3.2.2. Etapa de campo

a) Ubicación de calicatas

Para la elaboración del estudio se ubicó estratégicamente los puntos representativos de excavación de 10 calicatas georeferenciadas, con un sistema de posicionamiento global (GPS), teniendo en cuenta las principales unidades de mapeo de acuerdo a los temáticos necesarios. La distribución de las calicatas se realizó en puntos estratégicos en cada unidad fisiográfica de 1 a 3 calicatas de acuerdo a las características del paisaje.

b) Excavación de calicatas

Se realizó la excavación de pozos rectangulares de 1 x 1.5 y una profundidad de 1.50 m aproximadamente, con una buena orientación al sol para poder describir con mayor claridad los perfiles del suelo y así también cada uno de sus horizontes.

c) Toma de muestras

se realizó con un estudio minucioso de los horizontes que saltaron a la vista en las calicatas, tomando nota del espesor de cada horizonte, así como también, su estructura, consistencia, porcentaje de grava, presencia de raíces, límite, profundidad, entre otras. Así como también se observó los aspectos externos, como son el drenaje, microrelieve, erosión, pendiente, pedregosidad superficial, etc.

Concluido con la lectura de las calicatas se procedió a la toma de muestras que se recogió 1 kg aproximadamente por horizonte para luego ser analizados en el laboratorio, para el estudio de caracterización de las propiedades físicas y químicas de dichos suelos.

3.2.3. Etapa de laboratorio

El análisis se realizó según los métodos que a continuación se indican.

- Textura : Método de la pipeta
- pH : Método electrométrico
- Materia orgánica : Método de Walkley y Black modificado
- Fosforo disponible : Método Olsen modificado
- Nitrógeno total : Método de Microkjeldahl
- Potasio disponible : Método del H₂SO₄6N pratt
- C.I.C. : Método de acetato de amonio
- Cationes cambiables : Determinación en extracto de amonio:
- Ca : Método de EDTA (Ácido ethylendiaminotetra acético)
- Mg : Método de EDTA (VERSETANO)
- Na : Método de acetato de sodio
- Aluminio cambiable : Método del (cloruro de potasio) KCl 1N
- Color : Tabla Munsell
- Carbonatos : Método gasométrico
- C.E.(e) : Método (CEES)

3.2.4. Etapa de gabinete

3.2.4.1. Metodología para el primer objetivo.

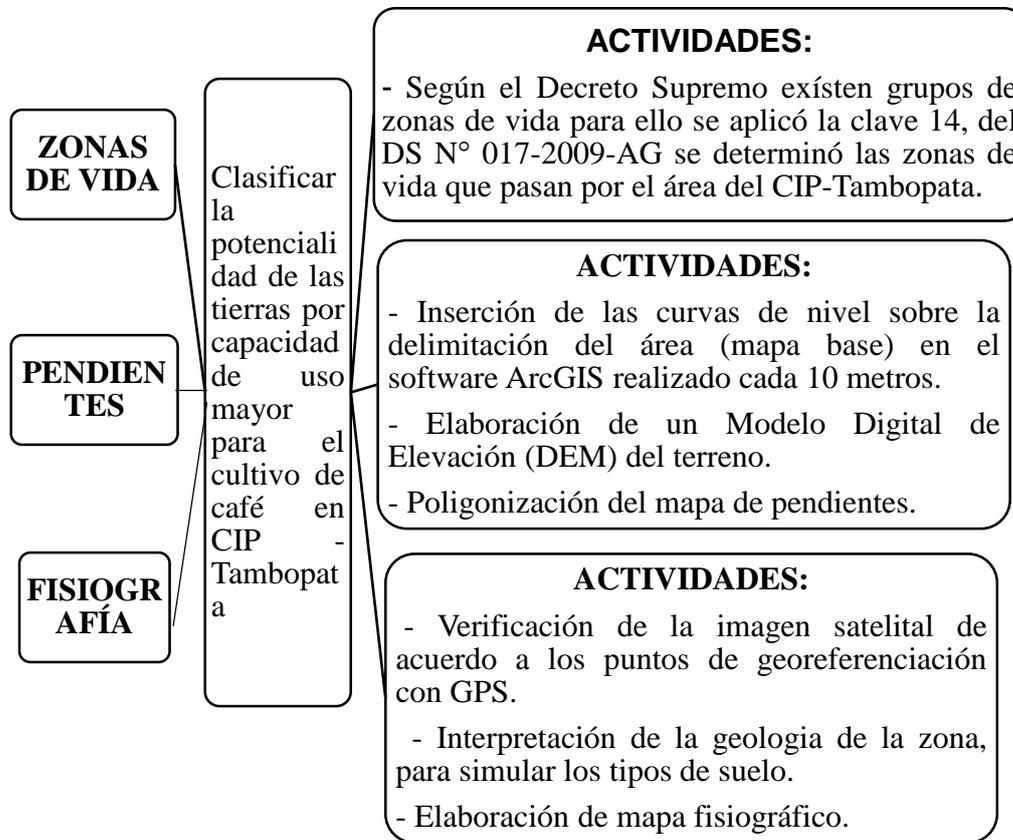


Figura 9. Fases de la metodología para la elaboración de los mapas temáticos para el primer objetivo.

Mediante esta metodología se llega a la obtención de clasificación de tierras por capacidad de uso mayor con sus potencialidades y limitaciones.

✓ **Pendientes**

Se digitalizaron las curvas de nivel con redes irregulares de triángulos (TIN) en el programa (SIG) ArcGIS, realizado cada 10 metros, y esta cartografía numérica, se incorpora al Sistema de Información Geográfica a través de un tablero digitalizador, que se encuentra en modo vectorial y definido por pares de coordenadas UTM (Universal Transverse Mercator).

En el programa ArcGIS, se realizó un Modelo Digital del Terreno (MDT o DEM. Digital Elevation Model). A partir del cual se elaboró el Modelo Digital del Terreno, reclasificando los porcentajes de elevación.

Tabla 4. Rango de pendientes según la clave 14 del. DS 017-2009-AG. (Ver anexo Pág. 127).

Categoría o Clase	Termino Descriptivo	Rango de Pendientes %
A	Llano a ligeramente	0 - 2
B	Ligeramente inclinada	2 - 4
C	Moderadamente	4 - 8
D	Fuertemente Inclinada	8 - 15
E	Moderadamente empinada	15 – 25
F	Empinada	25 – 50
G	Muy	50 – 75
H	Extremadamente empinada	Más de 75

Fuente: DS N° 017 – 2009 AG

✓ **Mapa fisiográfico**

La fisiografía se clasifica mediante (Villota). El cual se muestra la clasificación fisiográfica variable esta ayuda con mucha más facilidad la ubicación de calicatas.

A partir de la cartografía y de la imagen de satélite de la zona se logró obtener una serie de rasgos fisiográficos y topográficos.

Se revisó la información geológica-litológica de la zona, con la finalidad de establecer los diferentes materiales que conforman las geoformas de la zona, con la cual se establecieron los materiales parentales que dieron origen a los diversos tipos de suelos. Una vez establecidos los materiales parentales, se digitalizaron los polígonos fisiográficos sobre la imagen Ikonos, con sus atributos y completando la leyenda fisiográfica, además de calcular el área y perímetro de cada unidad, en el programa (SIG) ArcGIS.

✓ **Zonas de vida**

Según el diagrama de L. R. HOLDRIDGE (Ver anexo mapa N° 4).

3.2.4.2. Metodología para el segundo objetivo

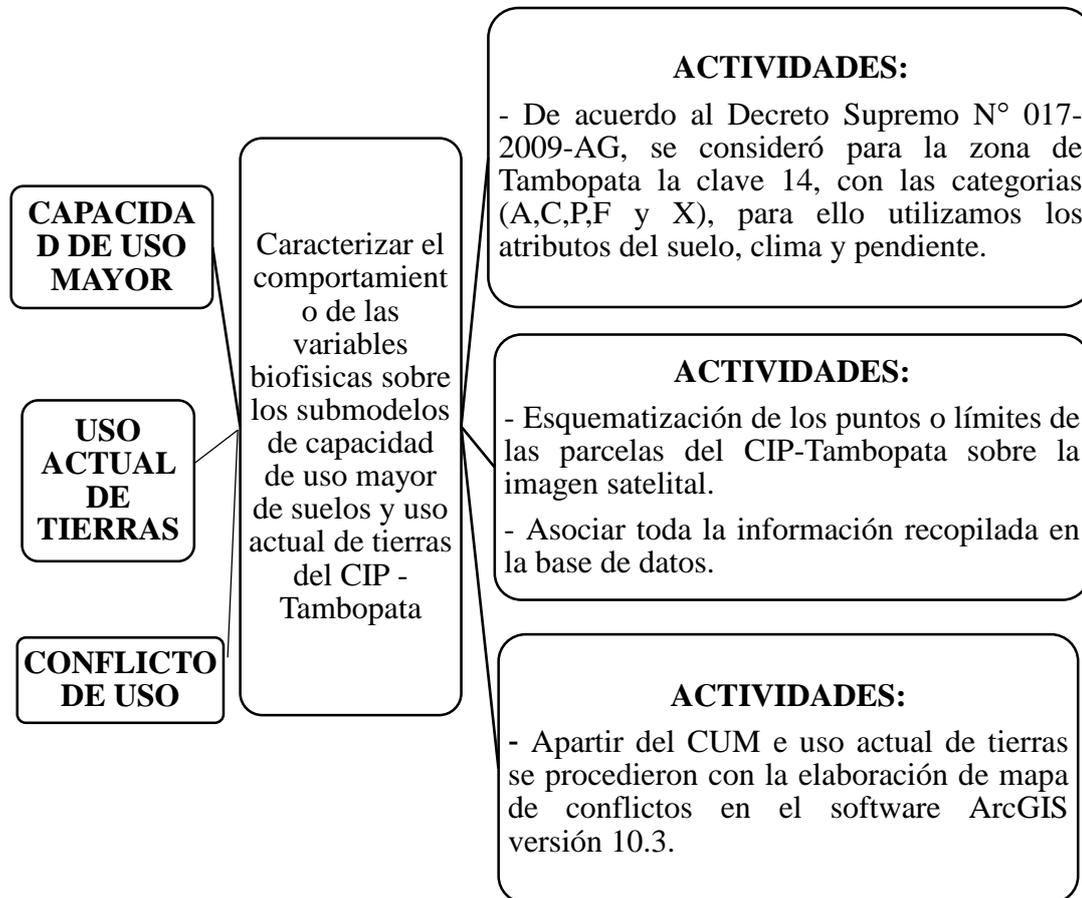


Figura 10. Fases de la metodología para la elaboración de los mapas temáticos para el segundo objetivo.

Se realizaron los mapas temáticos como son:

✓ **Mapa de capacidad de uso mayor de tierras**

El mapa de capacidad de uso mayor de tierras se realiza mediante la base de datos temáticos, el cual se obtiene con el análisis de suelo, según el DS 017-2009 AG con el clave 14, considera cinco grupos (A, C, P, F y X), por lo que se usó los datos de pendiente y suelo.

✓ **Mapa de uso actual**

Según la delimitación de áreas cultivadas; en el área de estudio y la validación mediante imagen satelital se realiza y se ubica el uso actual de tierras del CIP-Tambopata.

Para clasificar el suelo por su uso actual se tomó como referencia al sistema de clasificación de Corine Land Cover. Se procedió de la siguiente manera:

- Al momento de la excavación de las calicatas se georeferenciaron los puntos con ayuda del GPS, estos puntos de preferencia se tomaron en las parcelas cultivadas y lugares donde se observa grupos de similar especie, así también se delimitaron las parcelas por cultivo en el mismo campo con ayuda del GPS y posteriormente con ayuda de la imagen satelital de alta resolución pudimos corroborar que los puntos eran reales.
- Para obtener el área de cada perímetro georeferenciado se digitalizaron los datos y seguidamente fueron poligonizados en el software ArcGIS 10.3.

Teniendo la base de datos se procedió con la elaboración del mapa de uso actual de suelos del CIP - Tambopata.

Lo cual resulta a la realización de mapa de conflicto de uso; el CIP-Tambopata, en su mayoría es de buen uso de tierras.

✓ **Conflicto de uso de tierras**

A partir del CUM y uso actual de tierras se procedió con la elaboración de mapa de conflictos en el software ArcGIS versión 10.3, en el cual se enlazaron las informaciones temáticas usando la herramienta GEOPROCESSING del software ArcGIS versión 10.3 de acuerdo a los criterios de información vectorial de CUM y uso actual, se reclasifica y posteriormente se superponen de acuerdo a los establecido vectorialmente. Lo cual se visualiza en el ArcMap del software, tomando en cuenta los rangos de conflicto existentes como son: Adecuado, subuso y sobre uso y las áreas que no se encuentran intervenidas se consideró como áreas sin uso. Finalmente la información y datos obtenidos se incorporaron a una base de datos para la próxima elaboración del mapa de conflictos.

3.2.4.3. Metodología para el tercer objetivo

Se realiza 6 temáticos como son:

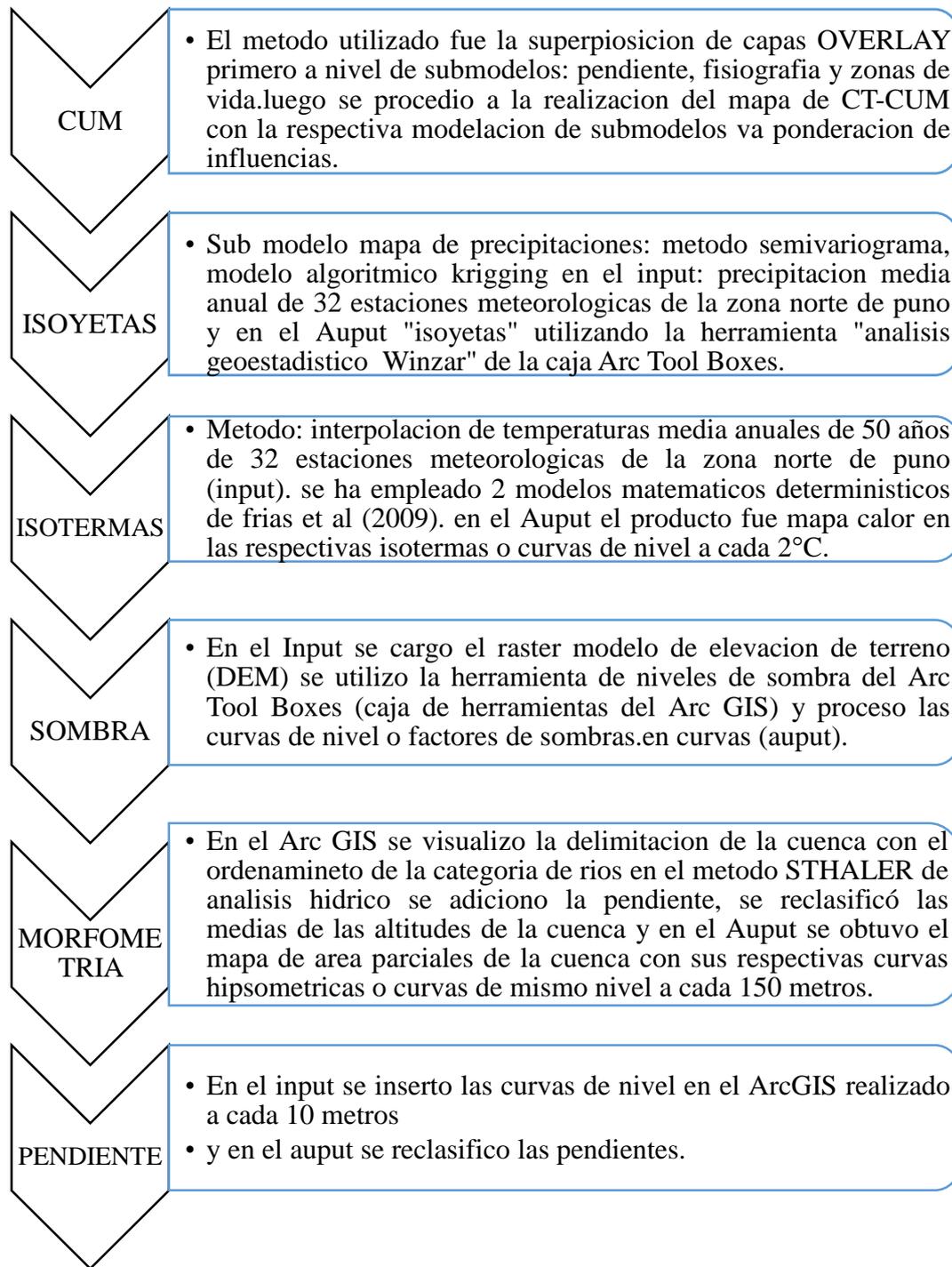


Figura 11. Fases de la metodología para la elaboración de mapas temáticos para el tercer objetivo

✓ **Precipitación**

Se toma datos de 32 estaciones meteorológicas con antigüedad de 50 años; los cuales están ubicados en la región Puno y Madre de Dios estas estaciones ayudan a determinar la media anual en caso de precipitaciones.

✓ **Mapa de isoyetas precipitaciones y climatología**

A partir de datos climáticos obtenidos de SENAMHI fueron construidos los mapas de distribución de precipitación y temperatura del área de estudio. La capa de precipitación fue elaborada mediante el proceso de interpolación tipo Kriging ordinario de los valores promedios anuales de precipitación (milímetros) calculados a partir de datos registrados durante un período de 50 años, en 32 estaciones meteorológicas presentes y aledañas al área de estudio (ejemplo: Madre de Dios (Salvación, Pilcopata y Molinowsky)).

Debido a la ausencia de registros de temperatura en las estaciones descritas, la capa de distribución de temperaturas medias anuales se generó a través de un proceso de interpolación diferencial.

Posteriormente, y usando el gradiente alto térmico, se calculó el patrón térmico del área de estudio con base a su modelo digital de elevaciones (DEM). Estas dos capas temáticas generadas representan una estimación de los valores promedios anuales de precipitación y temperatura en el territorio estudiado.

1. Almacenamiento de datos.

- Carpeta de trabajo: volumen I/subcarpeta; tesis agroclimatología/tema mapa de precipitación de 50 años.

2. Generación de base de datos

- Tipo de figura; curvas.

- 32 estaciones meteorológicas de precipitaciones “Isoyetas”.

- Método geoestadístico, algorítmico kriging, predictivo y generación de línea de tendencia previa transformación de dos para expresarle en la función matemática exponencial de segundo orden.

3. Procesamiento de datos

4. Generación de mapa de precipitaciones; estimación de error para el 100% de variables dependientes.

5. Generación de mapa de calor; creando en el programa un submodelo de Isotermas para la cuenca de Llamillami.

✓ **Temperatura:**

La temperatura media anual es una de las variables dependientes de la altitud: Ésta se calculó a partir de los valores medias anuales de temperaturas de 32 estaciones meteorológicas correspondientes a 50 años de registro.

Los datos de la variable temperatura media anual de 32 estaciones meteorológicas de la zona norte de la región Puno se correlacionaron con la altitud de las mismas estaciones. Se ajustaron estadísticamente los valores de temperaturas medias anuales, en la función regresión lineal simple, cuya tendencia mostró fuerte relación inversa entre la altitud y la temperatura. Resultando para una mayor altitud menor temperatura, la ecuación resultante es: $Y = -0.005x + 27.71$, donde Y es temperatura esperada, r es gradiente igual a -0.005, Ello indica; que los valores de la temperatura son inversamente proporcionales a la altitud $Z = 1800$ msnm del entorno del CIP - Tambopata (Z es la altitud determinada para la zona de estudio). Asimismo, se determinó el coeficientes de determinación $R^2 = 0.97$.

En la interpolación de los valores de la temperatura se utilizaron dos modelos matemáticos determinísticos; el primero para el cálculo de temperatura determinada y el segundo en la generación de mapa de calor citado por Fries et al (2009).

a. Modelo matemático (1) de Fries Andreas. *et al*, se utilizó en el cálculo de temperatura media anual determinada para 1800 msnm ($T_{Det.}$)

$$(1) \quad T_{Det} = T_{anual} + (\Gamma (Z_{Det} - Z_{estación}))$$

b. Modelo Matemático (2) de Fries Andreas. *et al*. Con el cual se determinó el valor de las temperaturas para cualquier sitio del área de estudio, además se generó el mapa de calor para la zona norte de Puno.

$$(2) \quad T_{x,y} = T_{Det} + \left(\Gamma \left(Z^{DEM(x,y)} - Z_{Det} \right) \right)$$

Donde;

T_{Det} = Temperatura determinada para cada estación meteorológica

$T_{x,y}$ = Temperatura anual de una localización geográfica,

r = Gradiente

Z_{Det} = Cota determinada para el área de estudio (Microcuenca de río Llamillami)

$Z_{Estación}$ = Cotas de las estaciones meteorológicas

DEM = Modelo de elevación digital de la zona norte de Puno y del área de estudio.

Los resultados de temperaturas determinadas.

En resumen la propiedad de CIP - Tambopata UNA – Puno, tiene temperaturas medias anuales de 22°C a la altitud de 1300 msnm, y 18°C a la altitud de 1800 msnm. Estas altitudes favorecen el manejo sostenido de la caficultura, sistemas agroforestales y cultivos permanentes (Ver figura N° 19).

Precipitación media anual:

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{|x_i - x_j| = |h|} (z(x_i) - z(x_j))^2$$

Para la interpolación de los valores de la precipitación anual de los 50 años se usó el modelo Semivariograma Normal Predictivo de Geoestadística algoritmo Kriging.

El algoritmo utilizado fue Kriging Predictivo. Este modelo se basa en una función matemática continua, el cual mostró la distribución de los valores de las precipitaciones primero de la zona norte de Puno, luego el comportamiento de la precipitación para el área de estudio del CIP-Tambopata que está localizada en la microcuenca del río Llamillami. El modelo matemático probabilístico de Kriging, mostró la semi distribución de los valores de la precipitación entre dos puntos de control o de estaciones meteorológicas en distintas direcciones de un espacio geográfico o entre varios puntos de control. Los valores de la precipitación, se calcularon mediante el modelo matemático estocástico o probabilístico de Kriging con la herramienta análisis geoestadístico “Álgebra de Mapas” del programa ArcGIS versión 10.3.

Se utilizó el modelo matemático “Semivariograma o Semidistribuido:

Dónde: $\gamma(h)$ y $N(h)$ = Semivariograma experimental para todas las muestras localizadas en el espacio territorial y el número total de 16 pares de muestras de cada estación meteorológica (32), separado por el intervalo de distancia (h).

Donde:

$Z_{(x)}$ = Valor de la muestra en una localización x ,

$Z_{(j)}$ = Valor de la muestra a la distancia h desde el valor j ,

Los valores resultantes de la precipitación se muestran en el mapa de precipitaciones y su distribución mediante las curvas de contornos se expresa en el mapa de isoyetas. (Ver mapa N° 9).

Los valores de precipitaciones para el CIP-Tambopata son entre 1117 a 1530mm de media anual (Ver figura N° 20).

Tabla 5. Procesos para el modelamiento de mapa calor

MODELAMIENTO DE MAPA DE CALOR DE TEMPERATURAS MEDIA ANUAL - ZONA NORTE PUNO							
A. MAPA DE CALOR E ISOTERMA							
ID	NOMBRE ESTACIÓN	X	Y	Z	Precip	Temp	Tdeter
1	Macusani	344625	8444058	4345	729.80	5.20	17.93
2	Limbani	423805	8435155	3320	1229.70	10.10	17.70
3	Crucero	389382	8411749	4183	772.10	6.20	18.12
4	Cuyo Cuyo	440840	8398130	3910	831.00	9.10	19.65
5	Llalli	297155	8347834	3980	801.20	7.50	18.40
6	Ayaviri	326832	8355146	3928	662.00	7.90	18.54
7	Chuquibambilla	347638	8364998	3971	703.50	6.90	17.76
8	Pucará	354887	8336185	3900	626.50	7.90	18.40
9	Azángaro	371927	8350803	3863	582.10	8.70	19.02
10	Progreso	389801	8375699	3980	611.30	8.70	19.60
11	Muñani	396911	8367234	3948	618.70	8.60	19.34
12	Mañazo	385223	8363526	3920	644.50	8.90	19.50
13	Arapa	379853	8326298	3830	698.10	9.10	19.25
14	Taraco	395808	8322686	3820	582.90	7.80	17.90
15	Ananea	442478	8377171	4660	625.30	4.10	18.40
16	Putina	406670	8350936	3878	681.30	8.60	18.99
17	Cojata	460905	8338831	4380	738.50	4.00	16.90
18	Tambopata	483153	8317703	1385	1521.50	21.00	18.93
19	Huancané	409061	8319247	3890	671.30	7.70	18.15
20	Pamapa Uta	320230	8287491	4400	795.00	4.20	17.20
21	Santa Lucía	327577	8263529	3970	682.20	6.70	17.55
22	Lampa	352948	8266710	3892	713.80	8.00	18.46
23	Mocallache	370413	8292182	3826	657.20	10.70	20.83
24	Huaraya Moho	448031	8298670	3890	874.20	8.60	19.05
25	Isla Soto	447586	8279422	3815	973.60	10.10	20.18
26	Isla Taquile	425965	8261863	3850	1216.00	10.10	20.35
27	Capachica	410793	8274432	3828	795.80	7.90	18.04
28	Uros	399758	8251197	3808	719.00	9.70	19.74
29	Puno	391618	8250023	3820	718.80	8.90	19.00
30	Malinowsky	443866	8570094	215	2260.38	25.80	17.88
31	Pilcopata	281312	8552746	900	3798.27	23.99	19.49
32	Salvacion	243071	8575775	520	3526.40	24.52	18.12

Fuente: SENAMHI: Desde 1964 al 2012 para las estaciones 1 al 29 y 30 al 32 de los últimos 10 años.

✓ Sombra

Mediante las horas de sol obtenidas para el CIP-Tambopata; se realiza los factores de sombra a $>$ sombra = reducir, $<$ sombra = aumento de sombra. Lo que se aduce analizar los factores de sombra para el CIP-Tambopata.

✓ Temperatura

Según SENAMHI, se toma la temperatura media anual de las 32 estaciones tomadas se inserta mediante las curvas de temperatura, lo que nos lleva a los resultados.

✓ **Pendiente**

Según el DS N° 017- 2009 AG se utilizó la pendiente larga.

✓ **Morfometría de la cuenca**

Se refiere a la forma de la cuenca, los ríos de la cuenca Llamillami son cuencas en proceso de maduración lo que significa que es más seguro (sin riesgo).

✓ **Capacidad de uso mayor de tierras.**

Según el mapa obtenido para el primer objetivo.

Siguiendo estos temáticos llegamos al resultado de realización de mapa de aptitud agroecológica y simulación de tierras.

- Modelamiento agroecológico

Para realizar el modelamiento agroecológico del cultivo de café para el CIP-Tambopata, se tiene que enlazar los mapas a través de las variables o submodelos más importantes para la producción del cultivo de café.

Sub Modelo físico (1), sub modelo suelos (2, 3, 5), sub modelo uso actual: (6), sub modelo biológico (4, 11, 12), sub modelo climático (8, 9, 10) y Modelo Zonificación Agroecológico (12 = Potencial Agroecológico) y sub modelo conflicto de uso (7) y modelo (12) = Modelo Ordenamiento Agroecológico (13).

- Almacenamiento de datos

- Carpeta de trabajo;

Tesis2018/SIG_TAMBOPATA/precipitación/Precip_tem32estaciones

- Tipo y clase de figura

- Precipitación a un record de 32 estaciones meteorológicas

- Según el método Kriging

- Tipo Ordinario

- Tipo de salida Predicción

- Conjunto de datos N° 1

- Tipo de tendencia segundo

-Transformación en logaritmo, interpolación y explorar los análisis exploratorio de la superficie de la tendencia.

- Tipo de salida predicción

- Semiaxis mayor: 230,560.15746051483

- Semiaxis menor: 230,560.15746051483

- Ángulo 0

-Variograma

- Semivariograma:

Número de retraso 33

Tamaño de retraso: 6,986.671438197419

Error de medición 100%

-Tipo de modelo: Estable

- Parámetro 2

- Distancia: 230,560.15746051483

- Travesaño parcial: 0.022108103513

- Temperatura 18 – 22°C.
- < 18 retardan el desarrollo
- > 34 presentan disturbios vegetativos
- Temperaturas iguales o superiores a 2°C la dormancia de flores.

- PARÁMETROS TÉRMICOS PARA LAS ZONAS CLIMÁTICAS

Tabla 6. Parámetros térmicos para las zonas climáticas

Categorización	Temperatura media anual (T °C)	Déficit hídrico anual (mm)
Regiones aptas	19 – 22	< 150
Regiones restringidas	18 – 19 y 22 - 23	150 - 200
Regiones Inaptas	< 18 e < 23	> 200
Lluvia	1200 – 3000mm/año	1000 – 3000mm/año apto

Fuente: Grupo de trabajo

Capacidad de uso mayor: Menores condiciones – clima

- Altitud presentan restricciones de 900 – 1100m en la faz continental < 400 – 500m exceso de calor.
- Precipitaciones escasas riego suplementario.
- Precipitaciones mayor alta drenaje.
- SAF, con riego recomendado de áreas aptas localizados en restringidas por cada variable. Ejemplo: Restringida DH + T° no aptas, (INAPTAS)

Cuadro de distribución de área

M.O. = 2 – 4%

pH = 4.5 – 5.5

- Drenaje bueno con textura media.
- Rico en nutrientes.
- Erosión + 45% deductividad limitan el uso.
- suelos aptos: profundos, buen drenaje, temperatura media arenados + 60%.

Para llevar a cabo la modelación y simulación del escenario prospectivo tomamos como referencia los requerimientos de cultivo de café, realizamos la oferta (lo que se tiene en el área de cultivo) y demanda (lo que requiere el cultivo) para ello recurrimos a los datos climatológicos, edafológicos y geográficos del área de estudio según (Quispe, 2018). Tomamos los datos de requerimiento de cultivo de café en la zona de Tambopata.

Tabla 7. Requerimiento agroecológico para la oferta y demanda del cultivo de café

REQUERIMIENTO	OFERTA	DEMANDA
Área de estudio	148.3172 has	
Altitud	1250 - 1950msnm	1200- 1600msnm
Clima	Templado	Templado
Precipitación	1117.13-1530.28	1500 - 3000mm
Temperatura	8 - 22°C	22°C
Profundidad	40 - 60cm	2m.
Textura	Far	Arcillo limoso
ph	4 - 8	5.5
Drenaje	Pobre	Moderado
N.M.O.	0 - 2 %	> 2 %
Z.V.	BHT.	bmh - S
Luminosidad		4 - 8 horas

Fuente: (Quispe, 2018).

- CRITERIO PARA EL MODELAMIENTO AGROECOLÓGICO PARA EL CULTIVO DE CAFÉ.

Se utilizó el método estocástico (Tabla N° 8).

Tabla 8. Principios, criterios y parámetros para el modelamiento

MODELAMIENTO DE MAPA	PRINCIPIOS	CRITERIOS	PARAMETROS INDICATIVOS
Clima	Sostenibilidad	Climatológico	Mapa de calor
Sub modelo I	Sostenibilidad		Profundidad de precipitación media anual
Sub modelo II. Suelo	Sostenibilidad		Niveles de sombra
Sub modelo II	Sostenibilidad	Edafológico	CT-CUM
	Sostenibilidad		Unidades Fisiográfica
Sub modelo III. Biología	Sostenibilidad	Florístico	Tipo de Pendiente
	Sostenibilidad		Extensión amenazada y tipo de extinción
Sub modelo III	Protección	Faunístico	
	Sostenibilidad	Geográfico	
Ámbito agronómico IV	Rendimiento	Sostenibilidad	Clase de rendimiento
	Producción	sostenibilidad	Sistema de producción
cuenca	morfométrico	Estabilidad	Tipo de cuenca

Fuente: De los investigadores

3.2.4.3.1. Ponderación para modelamiento de zonificación agroecológica para cultivo de café

El suelo es uno de los factores más importantes para la producción adecuada del cultivo de café por ello según los resultados se tiene como mayor ponderación al cum (40), teniendo en el CIP-Tambopata rangos de aptitud en suelos como: apta, moderada, restringido y no apta; seguido por clima, con variables temperatura (15), sombra (15) y precipitación (10); finalmente tenemos la geografía con sus dos variable morfometria (10) y pendiente (10). Esta rango de jerarquización y ponderación de variables nos indica que el cultivo de café tiene como mayor componente de importancia al suelo, por lo que se estima que según, los resultados de las variables del CIP Tambopata son en su gran parte aptas para el cultivo de café, lo que quiere decir que con un buen manejo y su conservación se producirán cafés de calidad y con buen rendimiento.

Para obtener buen rendimiento de café el CIP - Tambopata cumple con todos los requerimientos de dicho cultivo, teniendo en cuenta que en lugares que tienen como

aptitud ya sea moderada o no apta en estas zonas se puede realizar un manejo adecuado de los suelos, clima y geografía.

Para realizar la ponderación se realiza mediante la siguiente formula:

$$x = \frac{(Campo * Escala De Valores)}{Ponderacion}$$

Tabla 9. Criterio de ponderación de variables para el modelamiento agroecológico.

Ponderación	Variable	Rangos	Campo	Escala de valores
40	CUMT	Apta	40	9
		Moderado	30	7
		Restringido	20	5
		No Apto	10	2
15	Temperatura	Apta	15	9
		Moderada	10	6
15	Sombra	Apta	15	9
		Moderada	10	6
10	Precipitación	Apta	10	9
		Moderada	5	5
10	Morfometría	Apta	10	9
		Moderada	5	5
		No Apta	2	2
10	Pendiente	Apta	10	9
		Moderada	5	5
		No Apta	2	2

Fuente: De los investigadores

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de la investigación se exponen para cada uno de los objetivos, de acuerdo al reporte de información biofísicas realizadas en el campo para determinar la zonificación, análisis de las potencialidades para el CIP-Tambopata, que consta de mapa de pendientes, fisiográfico, zonas de vida, capacidad de uso mayor, uso actual de la tierra, conflictos de uso de la tierra, mapa climatológico, mapa de sombras, hipsométrico de la cuenca, mapa de zonificación agroecológica y mapa de ordenamiento agroecológico para el cultivo de café; todos estos mapas se elaboraron con base en diferentes criterios tomados en campo, realizando encuestas y reporte de la comisión de inventariado del CIP-Tambopata trasladando estos datos a la herramienta básica que se utilizó como es un GPS y los programas (SIG) ArcGIS versión 10.3.

4.1. Clasificación de las tierras según su capacidad de uso mayor de los suelos

Según el aspecto de la naturaleza morfológica, física, química y con ayuda de la imagen satelital de alta resolución, se determinó las potencialidades según su máxima vocación de tierras y se predijo el comportamiento de las mismas. A partir de esta información se representa y expresa el uso adecuado de las tierras ya sea para los fines que sea conveniente tanto como forestales, agrícola, pecuarios o en protección, así como también refleja y ayuda a realizar prácticas para su buen manejo y conservación, esto para evitar su deterioro (erosión de los suelos). Según el reglamento de clasificación de tierras según su capacidad de uso mayor del Decreto Supremo N° 017-2009-AG (Tabla 10). (Ver anexo mapa N° 5).

- **Determinación del grupo y clase de capacidad de uso mayor**

Tabla 10. Clasificación de tierras por capacidad de uso mayor de suelos del CIP-Tambopata.

Grupo	Clase	Subclase	Área has	Porcentaje
F	F3	F3sec	0.0952	0.06
F	F3	F3sw	1.5198	1.02
C	C3	C3sec	11.0062	7.42
F	F3	F3sw	28.8793	19.47
F	F3	F3se	2.3947	1.61
F	F2	F2sw	4.9798	3.36
F	F3	F3se	9.0797	6.12
A - F	A_F3	A - F3sw	5.0095	3.38
F	F3	F3ew	0.0432	0.03
C	C3	C3ew	0.0335	0.02
C	C3	C3ew	71.6748	48.33
F	F2	F2sw	1.0891	0.73
F	F2	F2sw	0.2604	0.18
F	F3	F3sw	0.7167	0.48
F	F3	F3sw	1.8050	1.22
C	C2	C2sw	0.1079	0.07
C	C2	C2sw	9.6224	6.49
TOTAL			148.317	100.00

Fuente: De los investigadores

a. **Unidades de capacidad de uso mayor**

Tabla 11. Determinación de la clasificación según la capacidad de uso mayor de tierras para el CIP - Tambopata

Grupo	Área (Has)	% Área	Clase	Área (Has)	% Área	Sub Clase	Área (Has)	% Área
C	92.4449	62.33	C2	9.7303	6.56	C2sw	9.73	6.56
			C3	82.7146	55.77	C3ew	71.71	48.35
						C3sec	11.01	7.42
C-F	5.0095	3.38	C-F3	5.0095	3.38	A-F3sw	5.01	3.38
F	50.8629	34.28	F2	6.3293	4.27	F2sw	6.3293	4.27
						F3sw	32.9206	22.19
			F3	44.5336	30.01	F3sec	0.0952	0.06
						F3se	11.4745	7.73
						F3ew	0.0432	0.03
TOTAL							148.322	100.00

Fuente: De los investigadores

C = Tierras aptas para cultivos permanentes.

C – F = Tierras aptas para cultivos permanentes asociado con forestales.

F = Tierras aptas para forestales.

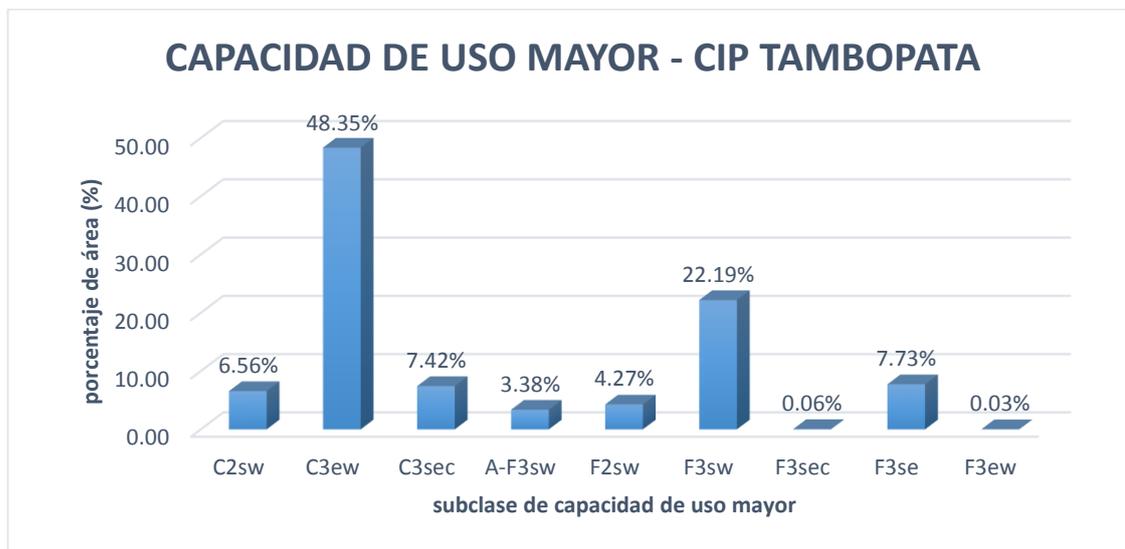


Figura 12. Clasificación de capacidad de uso mayor del CIP – Tambopata

Tabla 12. Limitaciones y calidad agrológica según clasificación de capacidad de uso mayor de tierras del CIP-Tambopata

Grupo	Clase	Sub Clase	Características Generales	Serie
C	C2	C2sw	Tierras aptas para el cultivo permanente, de calidad agrológica media con limitaciones de suelo y drenaje.	Huaccaychuro
		C3ew	Tierras aptas para el cultivo permanente, de calidad agrológica baja con limitaciones de erosión y drenaje.	Cultivo de café
	C3	C3sec	Tierras aptas para el cultivo permanente, de calidad agrológica baja con limitaciones de suelo, erosión y clima.	Tocoral
C-F	C-F3	C-F3sw	Tierras aptas para cultivos permanentes asociado con forestales, de calidad agrológica baja con limitaciones suelo y drenaje.	Cítricos
F	F2	F2sw	Tierras aptas para forestales, de calidad agrológica medio con limitaciones suelo y drenaje.	Invasión huaccaychuro
		F3sw	Tierras aptas para forestales, de calidad agrológica baja con limitaciones suelo y drenaje	Monte virgen
	F3	F3sec	Tierras aptas para forestales, de calidad agrológica baja con limitaciones suelo, erosión y clima.	Tocoral
		F3se	Tierras aptas para forestales, de calidad agrológica baja con limitaciones de suelo y erosión.	Huaccaychuro
		F3ew	Tierras aptas para forestales, de calidad agrológica baja con limitaciones de erosión y drenaje.	Cítricos

Fuente: De los investigadores

Según el gráfico se explica que se está describiendo cuadro por cuadro la clasificación de uso mayor de suelos con su respectiva calidad agrológica y limitaciones del CIP-Tambopata.

4.1.1. Tierras aptas para cultivos permanentes (Símbolo C)

Según el gráfico dio como resultado un área de 92.5 ha, que equivale a un 62.3 % del total del área de investigación. Según este resultado estas tierras son aptas para cultivos perennes como frutales o arbustos, más no necesita la remoción continúa ya que estos cultivos se adaptan con facilidad y no es necesario plantarlos periódicamente.

Dentro de este grupo se establecieron las siguientes clases de uso mayor de suelos:

CLASE C2

Comprende una superficie de 9.73 ha, que equivale a un 6.56% del total del área en investigación. Esta clase agrupa a la tierra de calidad agrológica media, con mayor limitación de suelos y pendiente. Las condiciones son de suelo son típicas de selva en

cuanto a su textura por lo que no requieren de prácticas de manejo de suelos, sin embargo, es necesario darle buen uso y evitar el deterioro de este y mantener una producción sostenible y rentable.

Dentro de esta clase se determinó la siguiente sub clase:

- SUB CLASE C2sw

Comprende una superficie antes mencionada en clase, está compuesta por suelos moderadamente profundos, textura fina, con drenaje imperfecto y de reacción extremadamente ácido. Su limitación principal más importantes está relacionada con el suelo (Edáfico). Para esta subclase consideramos al suelos se la serie Invasión Huaccaychuro, que representa una pendiente moderadamente empinada.

- Limitación de Uso

De acuerdo a la subclase su limitación es primordialmente suelo, ya que estos suelos son poco profundos, seguidamente esta también el drenaje ya que la textura de estas es arcillosa, y por ello su drenaje es imperfecto.

- Lineamiento de uso y manejo

Para el buen uso de estos suelos se requiere prácticas de manejo de suelos, respecto a la corrección de la acidez de los suelos.

- Recomendaciones de uso y manejo

En base a sus características agroecológicas y físico-químicas y morfológicas, estos suelos permiten la producción de cultivos perennes y arbustivos, se recomienda la plantación del cultivo de café, cultivo de cítricos y otros.

CLASE C3

Comprende una superficie de 82.72 has, que equivale a un 55.77 % del total del área estudiada, esta clase comprende una calidad agrologica baja, con limitaciones de erosión y suelo. Las condiciones edáficas de este suelo en mayoría necesitan un buen manejo de suelos para su regeneración, rehabilitación y el buen uso del mismo, a fin de evitar el deterioro completo de este recurso y mantener una buena producción.

Dentro de esta clase se determinaron las siguientes sub clases:

- SUB CLASE C3ew

Comprende una superficie de 71.71 has, que equivale un 48.35 del total de área estudiada. Esta sub clase comprende una calidad agrologica baja con limitaciones en erosión y

drenaje, está conformada por suelos moderadamente profundos y con drenaje imperfecto. Se incluye a esta subclase la serie cultivo de café.

- SUB CLASE C3sec

Cubre una superficie de 11.01 has, lo que equivale a un 7.42% del total del área estudiada. Está conformada por suelos moderadamente profundos, con un drenaje imperfecto. Su principal limitante es el suelo por su textura que es arcillosa (fina), seguida por la erosión que tienen gran mayoría de estos suelos y por último el clima, ya que esta área se encuentra en la parte alta del terreno y se puede observar que estas limitantes son de mayor relevancia.

- limitaciones de uso

El principal problema el uso de estos suelos es la erosión, lo que indica niveles bajos de fertilidad, además de limitaciones por textura, drenaje y además de limitaciones por clima, por las partes altas que no favorece en precipitación y horas sol.

- Recomendaciones de uso y manejo

En base a sus características agroecológicas estos suelos permiten la producción de arbustos y cítricos, por otro lado, se recomienda realizar café de altura.

4.1.2. Tierras aptas para cultivos permanentes y forestales (SIMBOLO C-F)

Clase C-F3

- Sub clase C-F3sw

Comprende una superficie de 5.00 has, que equivale a un 3.38 % del total de área en estudio, comprende tierras aptas para cultivos permanentes y tierras aptas para producción forestal, de calidad agrologica baja y limitaciones de suelo y drenaje, caracterizado por el poco desarrollo de la profundidad (superficiales) encontrándose en la apertura de calicata solamente dos horizontes, con necesidad de manejo y conservación de suelos. Estos suelos comprenden en la serie Cítricos.

- Limitaciones de uso

El principal problema que limita el uso de estos suelos es la profundidad, y el drenaje por su textura fina, que causa un encharcamiento del agua lo que hace que el suelo sea más ácido de lo habitual por lo que se recomienda el manejo adecuado de estos suelos.

- Recomendaciones de uso y manejo

De acuerdo a sus características agrologicas y físico- químicas, estos suelos por los niveles de pendiente y riesgo de erosión, permiten la producción forestal y de cítricos con la implementación de cultivos en limpio.

4.1.3. Tierras aptas para producción forestal

Este grupo de capacidad de uso mayor no permite la implementación de cultivos en limpio siendo su mayor aptitud para forestales que se adapten a las condiciones ecológicas. Comprende una superficie de 50.86 has, que representa el 34.28 % del total de área de estudio, está compuesta por suelos moderadamente profundos aptas para la producción de árboles forestales maderables.

Dentro de este grupo se ha establecido las siguientes clases:

CLASE F2

Comprende una superficie de 6.32 has, lo que representa un 4.27 % del total de área estudiada, comprende la tierra con calidad agrologica media, limitaciones más intensas en suelo y drenaje, las condiciones edáficas nos dicen que estos suelos necesitan de un buen manejo y conservación de suelos y de bosques, para evitar la próxima erosión o deterioro de este recurso.

- Sub clase F2sw

Comprende una superficie antes mencionada en la clase F2. Representa áreas con suelos moderadamente profundos, con drenaje imperfecto, textura fina. Su limitación principal está en el factor topográfico. Para esta subclase representamos la serie Invasión Huaccaychuro.

CLASE F3

Cubre una superficie de 44.53 has, lo que representa un 30.01 % del área total evaluada, conformadas por tierras de calidad agrológica baja, lo que permiten el desarrollo forestal que se adaptan favorablemente a su agro ecosistema. Incluye suelos de topografía inclinada a muy empinada, con limitaciones más intensas de orden edáfico y relieve.

Dentro de esta clase se han reconocido las siguientes sub clases:

- Sub clase F3sw

Comprende una superficie de 32.92 has, lo que representa un 22.19 % del total del área estudiada. Compuesta por suelos moderadamente profundos, con drenaje moderado, y de reacción extremadamente ácido. Su limitación principal está relacionada al factor edáfico. Se relaciona con la serie Monte virgen.

- Sub clase F3sec

Comprende una superficie de 0.095 has, lo que representa un 0.06 % del total de área evaluada. Constituye una pequeña superficie con limitaciones de suelo y erosión primordialmente, ya que los suelos por la altitud en la que se encuentra pierden su calidad agrologica para cultivos permanentes. También tienen limitación en clima lo que indica

que son suelos pobres y no permiten cultivos en limpio, ni cultivos permanentes. A esta subclase se incluye la serie Tocoral.

- Sub clase F3se

Cubre una superficie de 11.48 has, lo que representa un 7.73 % del total de área evaluada. Está conformada de suelos moderadamente profundos, con textura moderadamente fina, con drenaje bueno y reacción extremadamente ácido. Su principal limitación se atribuye al factor edáfico. Para esta subclase incluimos a la serie Huaccaychuro.

- Sub clase F3ew

Representa una superficie 0.04 has, lo que cubre un 0.03 % del total del área evaluada. Esta compuestas por suelos superficiales, con drenaje imperfecto y textura fina. Su principal limitación se desarrolla en el factor edáfico y relieve. Para esta subclase se incluye la serie Cítricos.

- Limitaciones de uso de las subclases

El principal problema que limita el uso de estos suelos es la pendiente, drenaje y erosión de los suelos, además que constituye en las partes altas la limitación por clima, lo que quiere decir que estos suelos solo tienen aptitud para forestales que se adapten a estos factores.

- Limitaciones de uso y manejo

La utilización de estas tierras requiere prácticas de manejo y conservación de suelos y de bosques, realizar plantaciones de forestales de manera tecnificada utilizando curvas de nivel para evitar escorrentía y erosión de los suelos.

- Recomendaciones de uso.

En base a sus características agroecológicas estas tierras permiten la producción de árboles forestales maderables, los cuales contribuyen paulatinamente en la acumulación de M.O., evitando la escorrentía así mismo la erosión de esta. Además, se recomienda las prácticas de conservación de los suelos.

4.1.4. Descripción de serie de suelos

- Suelo Huaccaychuro

Está constituido por suelos de textura Arcillosa; fina, con pendiente de 25 a 50%, de perfil Ap, AB, B,y C, identificándose como horizonte de diagnóstico, con profundidad de suelo moderadamente profundo, de color pardo amarillento, drenaje imperfecto y no presenta subhorizonte de diagnóstico.

Las características químicas están expresadas por una reacción muy ligeramente salino (0.08 dS/m) y una saturación de bases de 26.85 a 47.30 %, la fertilidad de la capa arable se caracteriza por presentar contenido medio de materia orgánica, medio en potasio disponible y un contenido bajo de fósforo disponible.

- **Suelo Tocoral**

Está constituido por suelos de textura moderadamente fina, con pendiente de 50 a 75 %, de perfil A, AB, B y C, identificándose como horizonte de diagnóstico, con profundidad de suelo moderadamente profundo, de color pardo amarillento, drenaje imperfecto.

Las características químicas están expresadas por una reacción muy ligeramente salino y una saturación de bases de 22.95 a 96.36 %, la fertilidad de la capa arable se caracteriza por presentar contenido bajo de materia orgánica, medio en potasio disponible y un contenido medio de fósforo disponible.

- **Suelo Monte Virgen**

Está constituido por suelos de textura moderadamente fina, , con pendiente de 25 a 50 %, de perfil A1, A2, A3 y AC, identificándose como horizonte de diagnóstico, con profundidad de suelo profundo, de color pardo amarillento oscuro, drenaje bueno.

Las características químicas están expresadas por una reacción muy ligeramente salina y una saturación de base de 41.65 a 86.44 %, la fertilidad de la capa arable se caracteriza por presentar contenido bajo de materia orgánica, medio en potasio disponible y un contenido medio de fósforo disponible.

- **Suelo Invasión Huaccaychuro**

Está constituido por suelos de textura moderadamente fina, con pendiente de 8 a 15 %, de perfil Ap, A1 y C, identificándose como horizonte de diagnóstico, con profundidad de suelos moderadamente profundos, de color pardo oscuro, drenaje moderado.

Las características químicas están expresadas por una reacción muy ligeramente salino y una saturación de base de 91.99 a 87.28 %, la fertilidad de la capa arable se caracteriza por presentar contenido bajo de materia orgánica, medio en potasio disponible y un contenido medio de fósforo disponible.

- **Suelo Cultivo de Café**

Está constituido por suelos de textura fina, con pendiente de 25 a 50 %, de perfil Ap y AC, identificándose como horizonte de diagnóstico, con profundidad de suelo moderadamente profundo, de color pardo oscuro, drenaje imperfecto.

Las características químicas están expresadas por una reacción muy ligeramente salino y una saturación de bases de 90.37 a 78.44 %, la fertilidad de la capa arable se caracteriza

por presentar contenido bajo de materia orgánica, medio en potasio disponible y un contenido medio de fósforo disponible.

- **Suelo Cafeto sin Producción**

Está constituido por suelos de textura fina, con pendiente de 25 a 50 %, de perfil Ap, AB y C, identificándose como horizonte de diagnóstico, con profundidad moderadamente profundos, de color pardo fuerte, drenaje imperfecto.

Las características químicas están expresadas por una reacción muy ligeramente salino y una saturación de bases de 77.82 a 62.89 %, la fertilidad de la capa arable se caracteriza por presentar contenido medio de materia orgánica, medio en potasio disponible y un contenido medio de fósforo disponible.

- **Suelo Cítrico Ojo de Agua**

Está constituido por suelos de textura fina, con pendiente de 25 a 50 %, de perfil Ap, AB y C, identificándose como horizonte de diagnóstico, con profundidad de suelo moderadamente profundos, de color pardo amarillento, drenaje moderado.

Las características químicas están expresadas por una reacción muy ligeramente salino y una saturación de base de 84.91 a 55.48 %, la fertilidad de la capa arable se caracteriza por presentar contenido bajo de materia orgánica, medio en potasio disponible y un contenido bajo de fósforo disponible.

- **Suelo Invasión Jayupa**

Está constituido por suelos de textura moderadamente gruesas, con pendiente de 15-25 %, de perfil Ap y C, identificándose como horizonte de diagnóstico, con profundidad de suelos superficiales, de color pardo amarillento, drenaje algo excesivo.

Las características químicas están expresadas por una reacción muy ligeramente salino y una saturación de base de 98.94 a 55.19 %, la fertilidad de la capa arable se caracteriza por presentar contenido medio de materia orgánica, medio en potasio disponible y un contenido medio de fósforo disponible.

- **Suelo Cítricos**

Está constituido por suelos de textura moderadamente fina, con pendiente de 15 a 25 %, de perfil Ap y C, identificándose como horizonte de diagnóstico, con profundidad de suelo superficiales, de color pardo oscuro, drenaje imperfecto.

Las características químicas están expresadas por una reacción muy ligeramente salino y una saturación de bases de 89.63 a 81.71 %, la fertilidad de la capa arable se caracteriza

por presentar contenido medio de materia orgánica, medio en potasio disponible y un contenido medio de fósforo disponible.

- **Suelo Cítricos Remontados**

Está constituido por suelos de textura fina, con pendiente de 25 a 50 %, de perfil Ap, AB y C, identificándose como horizonte de diagnóstico, con profundidad moderadamente profundos, de color pardo fuerte, drenaje moderado. Las características químicas están expresadas por una reacción muy ligeramente salino y una saturación de bases de 80.57 a 94.88%, la fertilidad de la capa arable se caracteriza por presentar contenido bajo de materia orgánica, medio en potasio disponible y un contenido medio de fósforo disponible.

Las limitaciones obtenidas mediante los resultados de mapa de clasificación de capacidad uso mayor de suelos del CIP-Tambopata presentan en su mayoría limitación por drenaje y suelo lo que significa que con un buen ordenamiento territorial y manejo adecuado de los cultivos estos suelos podrían prosperar de buena manera y obtener cultivos de buena calidad y con buen rendimiento.

A. Mapa de pendientes

El área que se analizó presenta una topografía poco variante, las áreas de pendiente empinadas son las que predominan con un área de 92.445 has, que representa a un 62.35 % del total de área estudiada.

Los terrenos con pendientes muy empinadas, es la segunda área predominante que representa con un 50.811 has, que representa a un 34.27 % del total de área estudiada y moderadamente empinada con un área de 5.009 has que representa a un 3.38% del total de área estudiada.

Según este resultado obtenido se puede decir que los terrenos del CIP-Tambopata como casi toda la extensión de la selva puneña presentan pendientes muy pronunciados en mayor extensión y en el CIP son un 62.35 %, por lo que se presume que estos suelos de acuerdo a su pendiente tiene poca permeabilidad por ello se tiene que evitar la erosión por escorrentía ubicando bien los cultivos, con plantación tecnificada (Ver anexo mapa N° 2).

Tabla 13. Rango de pendientes de área del CIP - Tambopata

CATEGORÍA O CLASE	RANGO DE PENDIENTE	TERMINO DESCRIPTIVO	ÁREA (HAS)	ÁREA %
E	15-25	Moderadamente Empinada	5.009	3.38
F	25-50	Empinada	92.445	62.35
G	50-75	Muy Empinada	50.811	34.27
Total			148.265	100.000

Fuente: De los investigadores

B. Unidades Fisiografía del CIP – Tambopata

Según los resultados obtenidos el mapa de fisiografía, los áreas del CIP-Tambopata tienen un extensión de Colinas Altas Moderadamente Disectada 52.879 has, que representa a un 35.67 % del total de área estudiada, esta fisiografía se está constituido por colinas que presentan cimas subredondeadas y laderas cortas con pendientes dominantes entre $> 25 < = 50$, los suelos son profundos de textura franco arenosa, sin estructura a blocosa subangular fina débil. También se tiene las siguientes unidades fisiográficas montaña baja con un área de 52.225 has, lo que representa a un 35.22 %, con una pendiente de > 25 , colina baja ligeramente disectada con un área de 15.008 has, lo que representa a un 10.12 %, presentan relieve disectada por pequeños cauces de acción erosiva casi permanente, que dan lugar a barrancos poco profundos, los cuales originan pendientes de $< 15 < = 25$. Los suelos son moderadamente profundos, de textura franco arcillo arenosa a arcillosa, colina baja moderadamente disectada con un área de 12.518 has, lo que representa a un 8,44 %.

Este análisis de unidades fisiográficas nos sirvió para la ubicación del CIP-Tambopata y su próxima apertura (Ver anexo mapa N° 3).

Tabla 14. Unidades fisiográficas según pendientes del área del CIP – Tambopata

NOMBRE DE UNIDADES FISIográfICAS	SIMBOLO	PENDIENTE %	ÁREA HAS	PORCENTAJE
Colinas Altas Fuertemente Disectada	CAFD	> 50	2.434	1.64
Colinas Altas Moderadamente Disectada	CAMD	> 25 < = 50	52.879	35.67
Colinas Baja Fuertemente Disectada	CBFD	> 50	7.479	5.04
Colinas Baja Ligeramente Disectada	CBLD	< 15 < = 25	15.008	10.12
Colinas Baja Moderadamente Disectada	CBMD	> 25 < = 50	12.528	8.44
Montaña Baja	MB	> 25	52.225	35.22
Terrazas Alta Ondulada	TAO	> 15 < = 25	0.99	0.67
Terrazas Alta Plana	TAP	< = 15	2.823	1.9
Terrazas Baja No Inundable	TBNI	> 4 < = 8	1.906	1.29
TOTAL			148.261	100.0

Fuente: De los investigadores

C. Zonas de vida del CIP-Tambopata según Holdridge

- Bosque pluvial subtropical (bp – S)

a) Ubicación y extensión

Se distribuye en la región latitudinal Subtropical con una superficie de 44.057 has, lo que representa a un 29.71 % del total de área estudiada. Esta zona da vida pasa por la parte alta del área de estudio con una altitud de 1661 msnm.

b) Clima

Según el diagrama de bioclimático de Holdridge (2009) esta zona tiene un promedio de evapotranspiración potencial una cantidad de la tercera parte (0.125) y la cuarta parte (0.25) al volumen de precipitación promedio total por año, lo que ubica a esta zona en la provincia de humedad: SUPERHUMEDO.

c) Relieve y Suelos

Según Holdridge 1971, generalmente en estas zonas dominan los suelos Relativamente profundos, de reacción acida y arcillosos.

- Bosque muy húmedo subtropical (bmh – S)

a) Ubicación y extensión

Se distribuye en la región latitudinal Subtropical con una superficie de 104.207 has, lo que representa a un 70.29 % del total de área estudiada. Esta zona da vida pasa por la parte baja del área de estudio con una altitud de 1350 msnm.

b) Clima

Según el diagrama de holdridge 1971, la evapotranspiración potencial total por año se ha estimado que varía entre la cuarta parte (0.25) y la mitad (0.5) del promedio total por año, lo que lo ubica en la provincia de humedad: PERHUMEDO.

c) Relieve y suelos

Según Holdrige 1971, El molde edáfico está representado por suelos generalmente ácidos, medianamente profundos a superficiales, de tonos rojizo amarillos y pertenecientes a grupos edafogénicos como Acrisoles orticos, cambisoles distritos, y eutricos (Ver anexo mapa N° 4).

Tabla 15. Zonas de vida del área de CIP-Tambopata

Zonas de vida	ÁREA (ha)	% de área
Bosque pluvial SUBTROPICAL (bp – S)	44.057	29.71
Bosque muy húmedo SUBTROPICAL (bmh – S)	104.207	70.29
TOTAL	148.264	100

Fuente: De los investigadores

4.2. Uso actual de la tierra

Según UGI, el estudio realizado para determinar el uso actual de los suelos del CIP-Tambopata, se realiza con el objetivo de determinar, evaluar y clasificar las diferentes formas de utilización de la tierra. El procedimiento para determinar el uso actual se comenzó:

a. Se realizó la georeferenciación del área del CIP – Tambopata, así como también se establecieron puntos para la apertura de las calicatas con un GPS, lo cual se tomó en cuenta primordialmente las parcelas cultivadas, posteriormente se realizó la delimitación de las parcelas cultivadas.

b. Para establecer el área de cada parcela se georeferencio con un GPS los bordes de cada parcela, según el cultivo realizado; dicha información se incorporó en la base de datos, posteriormente se actualizo en el programa ArcGIS 10.3 (Ver anexo mapa N° 6).

Tabla 16. Categoría y clase de uso actual de tierras del CIP-Tambopata

	CATEGORÍA Y CLASE DE USO	ÁREA Has	% ÁREA
2	Terrenos con cultivos permanentes (Perennes)	11.904	8
7	Terrenos con bosques	136.413	91.973
TOTAL		148.317	100.0

Fuente: De los investigadores

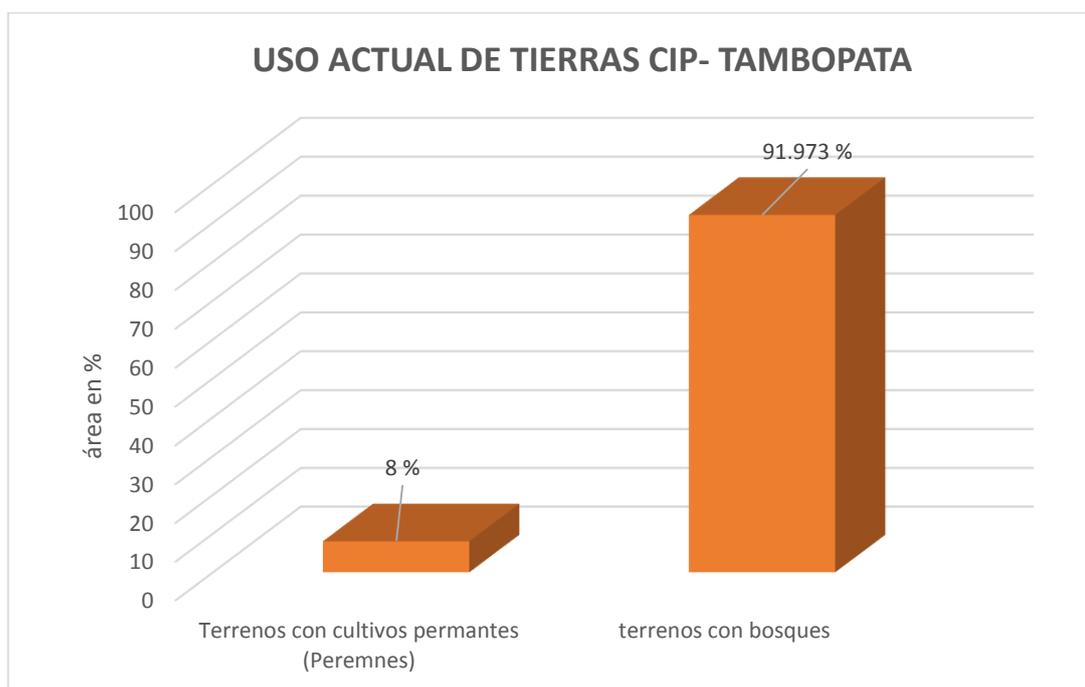


Figura 13. Uso actual de tierras CIP-Tambopata

Tabla 17. Uso actual de tierras por cultivo del CIP-Tambopata.

	CLASE DE USO	ÁREA Has	% AREA
2A	Cultivo de café	8.899	5.999
2B	Cultivo de cítricos	3.005	2.026

Fuente: De los investigadores

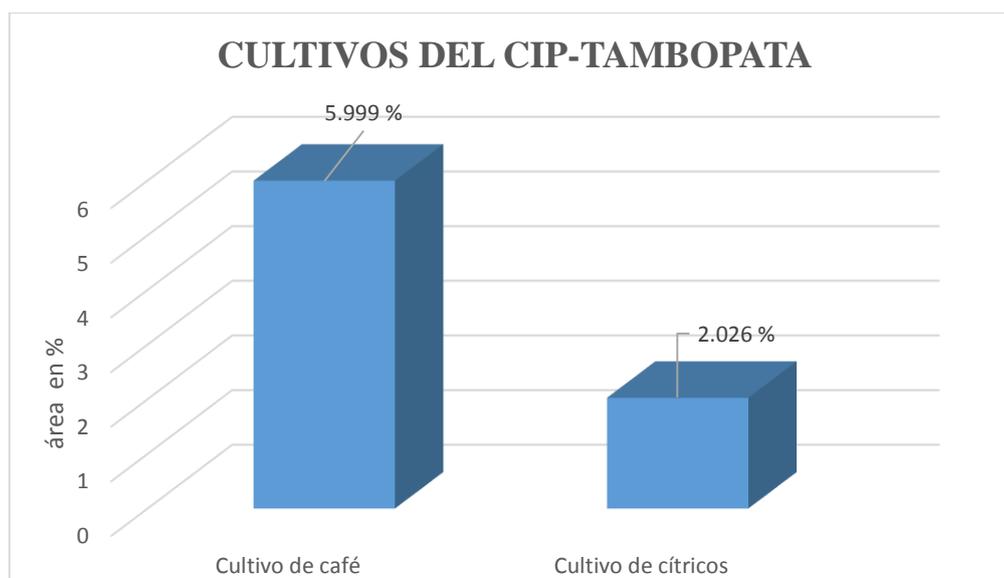


Figura 14. Uso actual según Cultivos del CIP-Tambopata

- Descripción por categoría de uso actual de las tierras

a. Cultivos permanentes (perennes): esta categoría constituye 11.904 Has, lo que representa a un 8% del área total estudiada.

- Cultivo de café (*Coffea arábica* L.), abarca 8.899 Has, lo que representa a un 5.999 % del total del área estudiada

- Cultivo de cítricos (*Citrus sinnensis*), abarca 3.005 Has, lo que representa a un 2.026 % del total del área estudiada.

b. Terrenos con bosque: Está categoría constituye 136.413 Has, lo que representa a un 91.973 % del total del área estudiada.

4.3. Conflicto de uso de tierras

Según el resultado de mapa N° 7, el conflicto de uso de tierras, que se logró mediante la superposición de dos mapas temáticos como son el uso actual de tierras y capacidad de uso mayor, dicha evaluación resuelve que 97.82 % del área de estudio se encuentra en uso adecuado, y un 2.18 % del área total de estudio se encuentra con conflicto por sobre uso, lo que afecta negativamente a la conservación de los recursos naturales.

Según (comisión 2015) en los inventarios realizados durante los últimos años, los rendimientos de producción disminuyeron significativamente y los terrenos tuvieron serios problemas por deslizamientos lo que generó pérdidas en la producción y gastos adicionales. Estos sucesos podrían evitarse con la zonificación agroecológica, ya que este método ayuda con la determinación de áreas adecuadas para el cultivo.

Para la conservación de los recursos naturales del CIP-Tambopata es necesario realizar el manejo adecuado; esto dará realce con el ordenamiento territorial del escenario prospectivo (Comisión, 2015) (Ver anexo mapa N° 7).

Tabla 18. Conflicto de uso de tierras según cultivo del CIP - Tambopata

Nombre del Cultivo	Conflicto	Área Hás	Porcentaje
Café	Adecuado	6.280	62.17
Café	Sobre Uso	0.220	2.18
Cítricos	Adecuado	1.794	17.76
Cítricos	Adecuado	1.808	17.89
TOTAL ÁREA EN USO		10.102	100

Fuente: De los investigadores

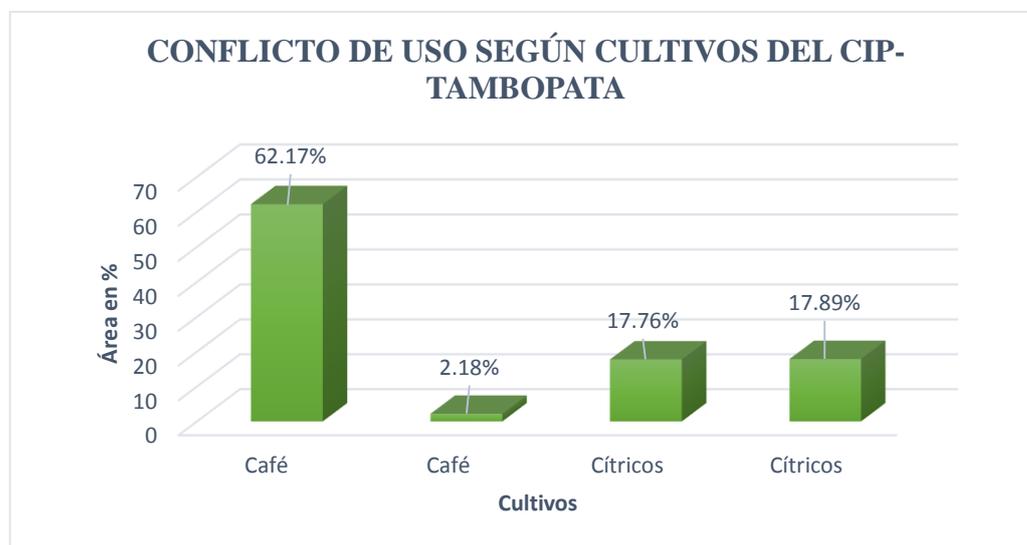


Figura 15. Conflicto de uso según cultivos del CIP-Tambopata

Tabla 19. Conflicto de uso de tierras del CIP-Tambopata.

Conflicto	Área has	Porcentaje
Adecuado	9.882	6.66
Sobre Uso	0.220	0.15
Sin Uso	138.215	93.189
TOTAL	148.317	100.00

Fuente: De los investigadores

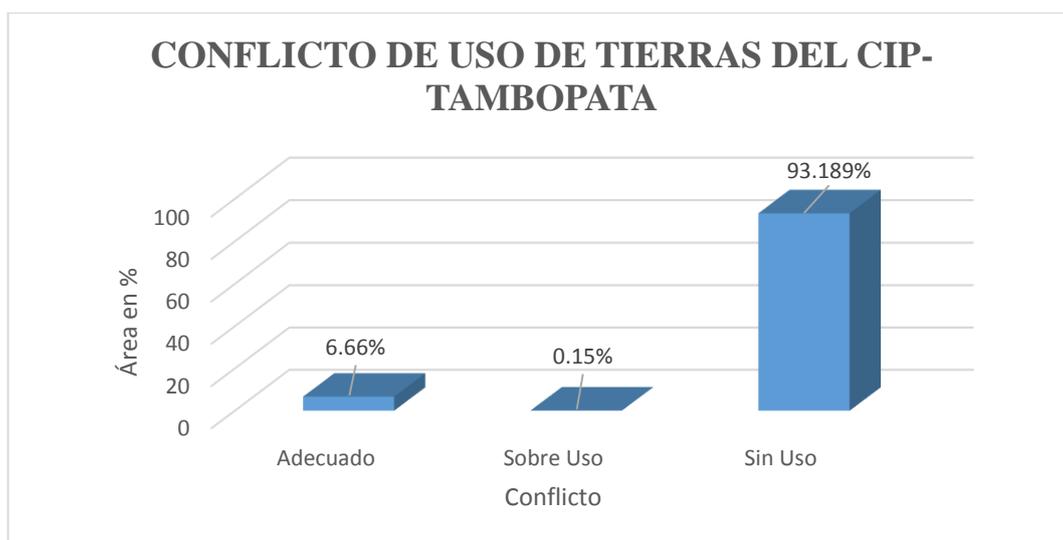


Figura 16. Conflicto de uso de tierras del CIP – Tambopata

4.4. Modelamiento agroecológico del predio CIP-Tambopata para cultivo de café

Para el ordenamiento agroecológico se toman las siguientes; consideraciones principales como son las variables agroecológicas: topografía o geografía (pendiente e hipsometría), edafología (profundidad, textura, pedregosidad, drenaje, fertilidad, pH, salinidad y M.O) y climatológico (temperatura, precipitación y sombra). Tomando en cuenta los requerimientos de demanda y oferta del cultivo de café (Tabla N° 7), según estos resultados obtenidos mediante el método de evaluación multicriterio y superposición de capas u OVERLAY en ArcGIS, nos clasifica los criterios según, el rango de importancia para el cultivo de café, esto nos muestra las aptitudes agroecológicas para café como son: moderada, marginal, apta y no apta para el cultivo del café.

La zona del CIP - Tambopata tiene primordialmente aptitud moderada tanto como para café y forestales, esto quiere decir que los suelos, la topografía y el clima de la zona de estudio favorece al desarrollo adecuado del cultivo de café del CIP, por lo que se sugiere realizar el buen manejo y ordenamiento de suelos y cultivos, ya que los resultados obtenidos nos muestra vocación alta para el uso de estos suelos.

Según los temáticos obtenidos para el modelamiento y simulación del escenario prospectivo, estos suelos tienen dos aptitudes agroecológicas que son tanto como para café y forestales. Basándonos al cultivo de café específicamente los suelos del CIP-Tambopata, según estudios realizados son ácidos, lo cual podría ser un limitante sin embargo dicho cultivo se adapta fácilmente a este limitante, por lo que se ubica áreas con aptitud moderada y alto para el cultivo de café, obteniendo rendimientos

considerablemente altos, solo se tomó como áreas a la aptitud moderada (Ver anexo mapa N° 13).

Tabla 20. Modelamiento de zonificación agroecológica del CIP - Tambopata

.

CRITERIOS	VARIABLES	Escalas Geográficas	Zona Apta	Moderada	Marginal	No Apta	Observaciones realizadas en el área de estudio
GEOGRAFICOS	PENDIENTE	Esc=1:8000	0 - 25	25 - 50	50 - 70	> 70	DS.017-2009-AG: Clave N°14, reclasificado en pendiente larga
	HIPSOMETRÍA	Esc=1:30000	1200 - 1500	1500 - 1800	>1800, <1200	>2400, <600	Hipsometría de la cuenca de río Llamilami, adaptado al CIP.
	TEMPERATURA	Esc=1:30000	17 - 23	< 17, > 23	(*)	< 16, > 24	T° medias anuales, determinadas de 32 Estaciones para 1800msnm.
CLIMÁTICOS	PRECIPITACIÓN	Esc=1:30000	800 - 2000	< 800, > 2000	(*)	< 500, > 3000	Pptaciones medias anuales de 32 estaciones, método Semidistribuido
	SOMBRA	Esc=1:30000	>=140, <=180	<140, >=80	>180 - <80	0 - 20	Nivel de sombra, determinada por el ángulo asimutal y elevación del sol
	PROFUNDIDAD	Esc=1:8000					DS.017-2009-AG: Clave N°14, reclasificado en 4 categorías
	TEXTURA	Esc=1:8000					DS.017-2009-AG: Clave N°14, reclasificado en 5 categorías
	PEDREGOCIDAD	Esc=1:8000	0	0	0	0	DS.017-2009-AG: Clave N°14, El parámetro no es limitante en el área
	DRENAJE	Esc=1:8000					DS.017-2009-AG: Clave N°14, reclasificado en 5 categorías
	FERTILIDAD	Esc=1:8000					DS.017-2009-AG: Clave N°14, 4 categorías y todas limitantes
	pH	Esc=1:8000					DS.017-2009-AG: Clave N°14, reclasificado en 5 categorías
	SALINIDAD	Esc=1:8000	0	0	0	0	DS.017-2009-AG: Clave N°14, El parámetro no es limitante en el área
EDAFOLÓGICOS	M.O.	Esc=1:8000					DS.017-2009-AG: Clave N°14, reclasificado en 3 niveles
CARTOGRAF. BASE	SERV. AMBIENTALES	Esc=1:8000					R. Rectorales UNA Puno, Edificaciones, corresponde a tierras miscelánicas
	Resumen:						La modelación de ZAE para el cultivo de café utilizó 12 mapas temáticos

Fuente: FAO, INIAP (Instituto nacional autónomo de investigaciones agropecuarias), Quito y estudios locales.

Tabla 21. Modelamiento agroecológico según su aptitud de tierras del CIP - Tambopata

APTITUD DE LA ZONA	SIMBOLO	ÁREA HA	PORCENTAJE
Apta para forestales	Apta F	13.94	9.40
Aptitud forestal moderada	Apt FM	31.18	21.03
Aptitud forestal restringida	Apt FR	16.45	11.09
Aptitud cafetal restringida	Apt CR	15.46	10.43
Aptitud cafetal moderada	Apt CM	62.19	41.94
Apta para café	Apta café	9.08	6.12
TOTAL		148.275	100.0

Fuente: De los investigadores

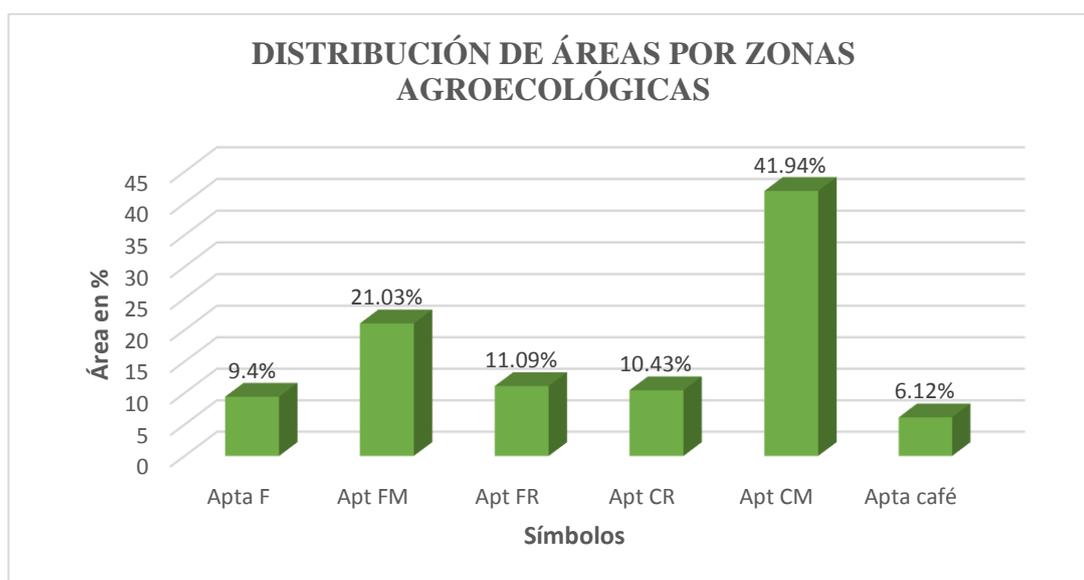


Figura 17. Distribución de áreas por zonas agroecológicas

Según MINAGRI los rendimientos adquiridos durante los últimos años; solo se alcanzó a un 903 Kg/has, lo cual fue el máximo alcanzado en el 2011, que disminuye al 2017 con un 817 Kg/has; estas expectativas alcanzan a que el presente proyecto de investigación busca incrementar los rendimientos y la calidad de producción en el CIP - Tambopata, según el estudio realizado se obtuvieron buenos resultados utilizando el presente proyecto en el campo.

Tabla 22. Rendimiento en kg/ha y volumen has según la aptitud para cafetal del CIP - Tambopata.

Aptitud Agroecológica	Símbolo Aptitud	Área Has	Promedio Rendimiento Kg/Has	Volumen Tn
Apta café	Apt café	9.08	900 - 1500	1.65
Aptitud cafetal moderada	Apt CM	62.19	700 - 900	1.15
Aptitud cafetal restringida	Apt CR	15.46	300 - 700	0.65
TOTAL AREA APTITUD CAFETAL		86.73		

Fuente: De los investigadores

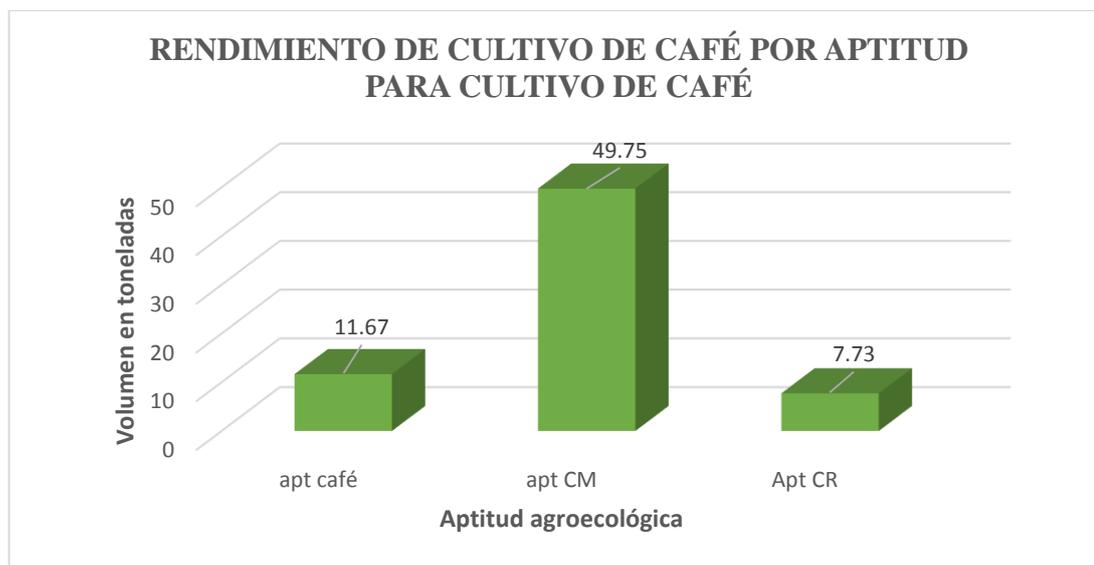


Figura 18. Rendimiento en kg/ha y volumen has según la aptitud para cafetal del CIP - Tambopata.

a. Climatología

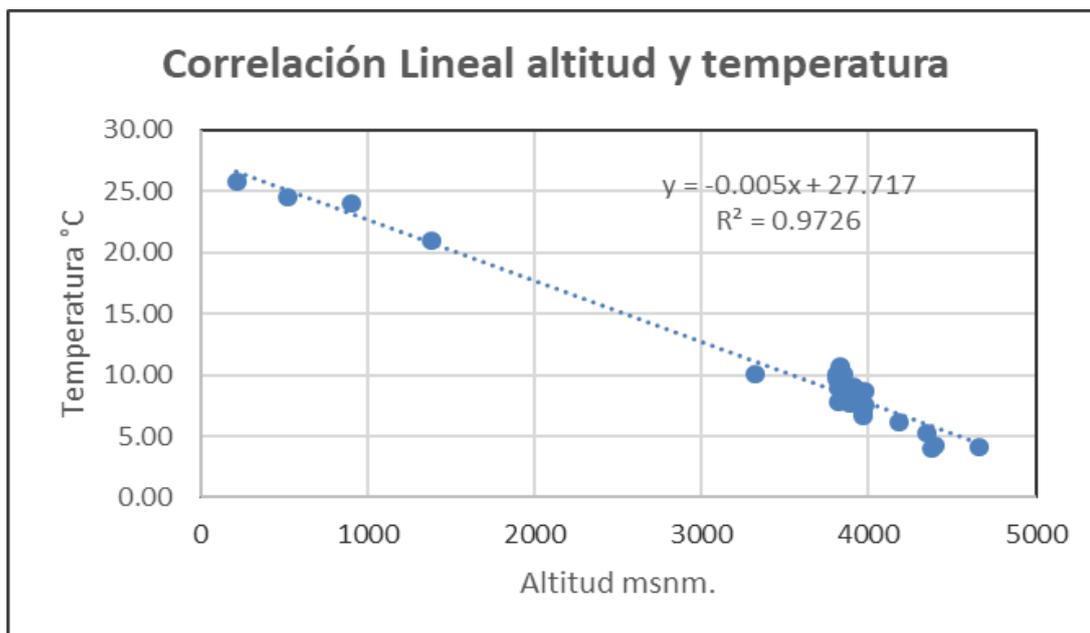


Figura 19. Correlación lineal altitud y temperatura

Según la figura 19, indica que a mayor altitud menor temperatura y menor altitud la temperatura aumenta, lo cual se ubica a la zona de producción en las zonas bajas, donde existe mayor temperatura lo que favorece a la producción de cafeto.

Interpolación de precipitaciones para la microcuenca de río Llamillami:

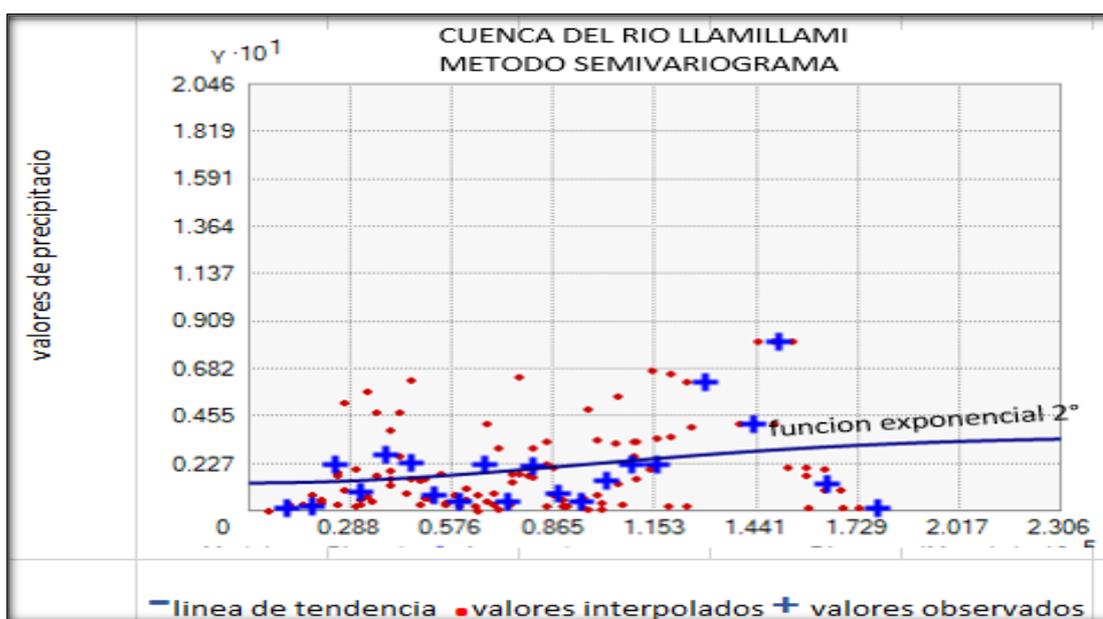


Figura 20. Tendencia transformada a la función exponencial en el semivariograma Kriging

Las precipitaciones, son relativos no se diferencian según la zona, lo cual indica en la figura 20, el modelo geoestadístico lineal indica que solo incremento en pequeñas cantidades; si la precipitación es correlativo o igual se mantiene el café prosperara.

b. Sombras CIP-Tambopata

Según los resultados obtenidos para los niveles sombra son: Apta con un rango de sombra entre 120-180 este es el factor apto para el cultivo de café, así como también se tiene el factor moderado que varía entre 80 - 100, afectan el trabajo fotosintético de la planta, dando como resultado otras reacciones en la planta, tales como: inducción y formación de cojines florales, apertura y cierre de las estomas de acuerdo a las condiciones prevalecientes y transpiración de los cafetos (Ver anexo mapa N° 10).

c. Zonificación agroecológica

La zonificación agroecológica se realiza para garantizar una planificación y uso más racional de tierras. Según (GICLI), el ZAE reviste gran importancia cuando se trata de hacer una planificación en los sectores productivos. Cada especie vegetal tiene sus propios requerimientos, también llamado criterios que se consideran tales como: climáticos, biológicos, agronómicos y geográficos; por ello esto ayuda a tomar decisiones con fundamento más integral y de sistema, esto conlleva a que la ZAE garantiza la identificación de las zonas de establecimiento de los diferentes tipos de tierras para lograr un mejor y mayor aprovechamiento en función al aumento de la agro productividad.

Según los resultados obtenidos para clasificación de capacidad de uso mayor de tierras y pendientes se realizó el modelamiento de aptitudes agroecológicas del CIP - Tambopata, las tierras del centro son moderada con un 76.717 has, que representa a un 51.74 % del total de área estudiada; optima con un área de 50.8622 has, lo que representa a un 34.32 %; marginal con un área de 11.0062 has, lo que representa a un 7.42 % y optima con un área de 9.7303 has, lo que representa a un 6.56 % del total de área estudiada (Ver anexo mapa N° 12).

Tabla 23. Aptitud agroecológica de tierras por capacidad de uso mayor y pendientes para el cultivo de café del CIP - Tambopata

DATOS DE APTITUD AGROECOLÓGICA DE TIERRAS POR CAPACIDAD DE USO MAYOR Y PENDIENTE PARA EL CULTIVO DE CAFÉ				
SUBCLASE	SUB CLASE DE TIERRAS POR CAPACIDAD DE USO MAYOR	APTITUDES	ÁREA ha	ÁREA %
A-F3sw	Grupo asociado, clase agrológica baja, limitado por suelo y drenaje.	Moderada	5.009	3.38
C3ew	Cultivos permanentes, clase agrológica baja, limitado por erosión y drenaje.	Moderada	71.708	48.4
F2sw	Grupo forestal, clase agrológica baja, limitado por suelo y drenaje.	No apta	1.089	0.73
F3se	Grupo forestal, clase agrológica baja, limitado por suelo y erosión.	No apta	2.395	1.61
F3sec	Grupo forestal, clase agrológica baja, limitado por suelo, erosión y clima.	No apta	0.095	0.06
F3sw	Grupo forestal, clase agrológica baja, limitado por suelo y drenaje.	No apta	1.519	1.02
C2sw	Cultivos permanentes, clase agrológica media, limitado por suelo y drenaje.	Optima	9.73	6.56
C3sec	Cultivos permanentes, clase agrológica baja, limitado por suelo, erosión y clima.	Marginal	11.006	7.42
F2sw	Aptitud forestal, calidad agrológica media, limitado por suelo y drenaje.	No apta	5.24	3.53
F3ew	Aptitud forestal, calidad agrológica baja, limitado por suelo y drenaje.	No apta	0.043	0.03
F3se	Aptitud forestal, calidad agrológica baja, limitado por suelo y erosión.	No apta	9.079	6.12
F3sw	Aptitud forestal, calidad agrológica baja, limitado por suelo y drenaje.	No apta	31.4	21.2
TOTAL			148.313	100

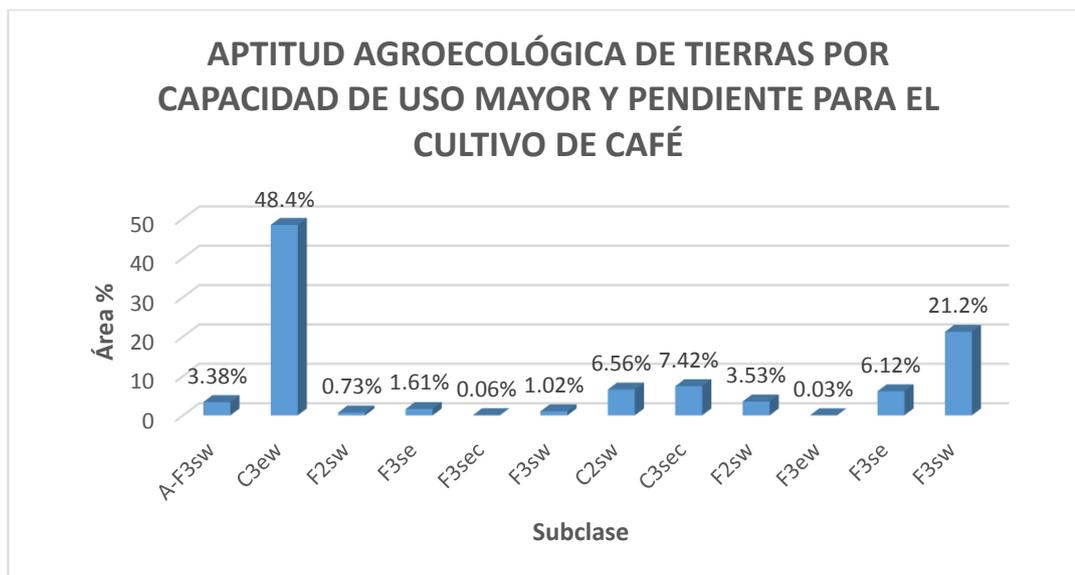


Figura 21. Aptitud agroecológica de tierras por capacidad de uso mayor y pendiente para el cultivo de café

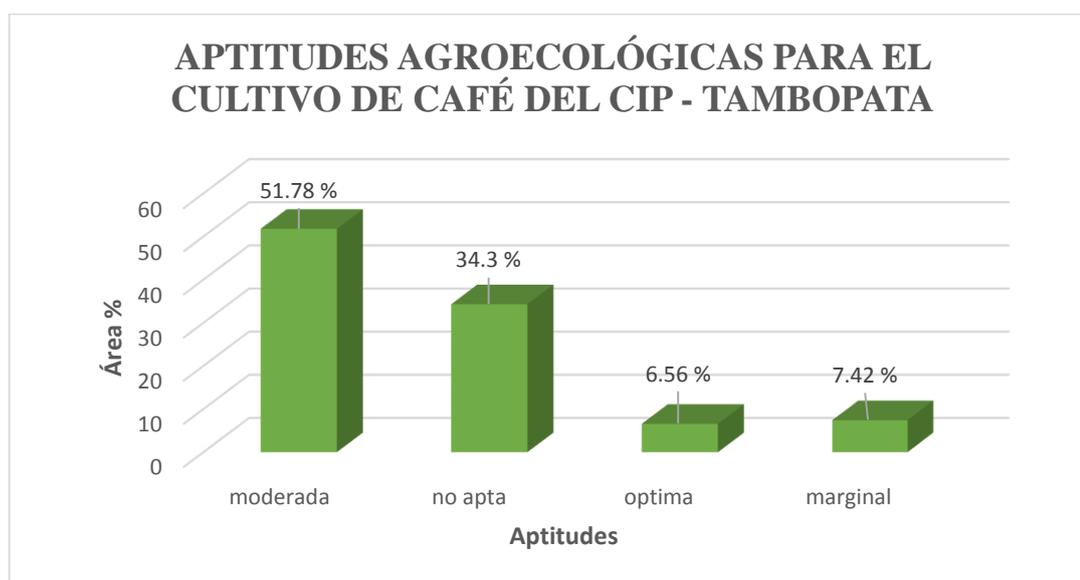


Figura 22. Aptitudes agroecológicas para el cultivo de café del CIP – Tambopata

d. Rendimiento del cultivo de café

La zonificación agroecológica de ordenamiento territorial del CIP - Tambopata, nos da como resultado, la incrementación en los rendimientos por aptitud agroecológica, lo cual se aprecia en la tabla N° 22; Nos indica que hay aumento las expectativas en la producción y calidad de café.

Tabla 24. Rendimiento de cultivo de café/ha por aptitud agroecológica del CIP - Tambopata

Aptitud Agroecológica	Área Has	Promedio rendimiento Qq/Ha	Rendimiento Kg/Ha	Volumen Tn
Optima	9.73	9-15	900 - 1500	1.65
Moderada	76.717	7-9	700 - 900	1.15
Marginal	11.006	3-7	300 - 700	0.65
No Apta	50.865	1-3	100 - 300	0.20
Total	148.318			

Fuente: De los investigadores

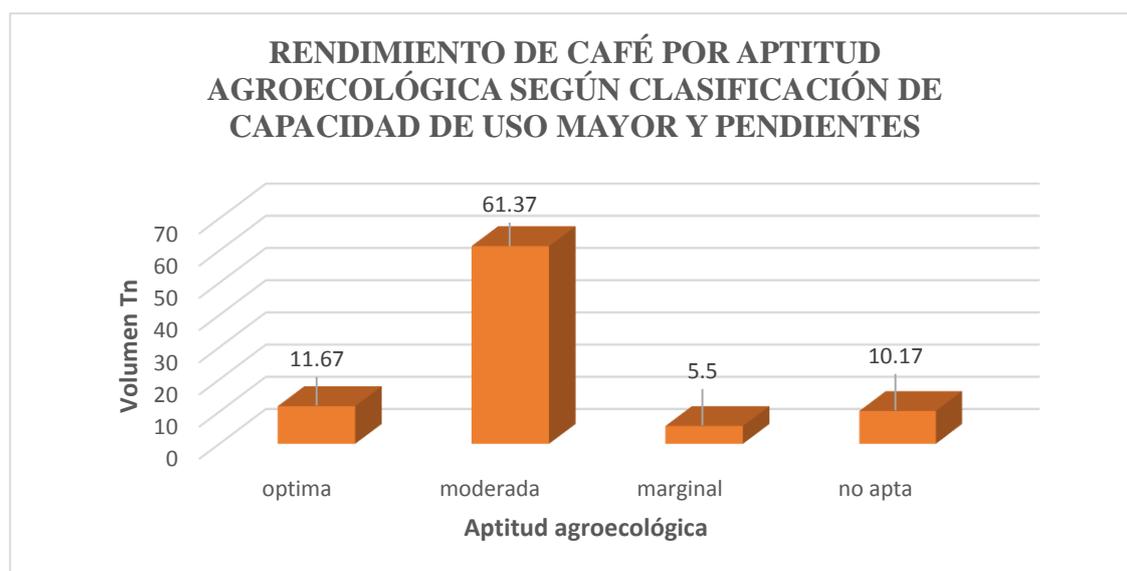


Figura 23. Rendimiento de cultivo de café/has por aptitud agroecológica del CIP - Tambopata

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

- Las principales potencialidades de las tierras del CIP - Tambopata son: para cultivos permanentes con 92.44 ha, que representa en 62.3 % del área de estudio, con las siguientes clases C2, C3 y subclases C2sw, C3ew, C3sec, lo que indica que estos suelos son aptos para el cultivo de café y frutales; así como también tierras aptas para forestales con una superficie de 50.86 has que es el 34.3 %, con clase F2, F3 y subclase F2sw, F3sw, F3sec, F3se y F3ew, lo que indica que estas tierras también son aptas para cultivos forestales maderables y tierras aptas para cultivo permanente asociado con forestales con una extensión de 5.01 ha que representa en 3.4 % con la siguiente clase C-F3 y subclase C-F3sw que nos indica aptitud para cultivos permanentes y forestales.
- Para el uso actual de las tierras del CIP - Tambopata; es para café con 8.89 ha que representa en 5.9 % y para cultivos de cítrico con una extensión de 3.00 ha que equivale a 2.0 %; de los cuales el uso adecuado, representa a 9.88 ha que equivale a 98 % y el conflicto de uso o uso inadecuado con una extensión de 0.22 ha lo que representa en 2 % del área total.
- Para la modelación del escenario prospectivo del CIP - Tambopata, se obtiene que tienen tierras apta para café con un área de 9.08 ha, lo que representa en 6.1 % del total del área estudiada, con un rendimiento de 1650 Kg/ha, lo que representa a un volumen de 1.65 tn. Aptitud cafetal moderada con una extensión 62.19 ha, que equivale a un 41.9 %, con un rendimiento de 1150 Kg/ha, lo que representa a un volumen de 1.15 tn y aptitud cafetal restringida con un área de 15.46 ha, lo que representa en 10.4 %, con un rendimiento de 500 Kg/ha, lo que representa a un volumen de 0.65 tn. Del total del área estudiada.

CAPÍTULO VI

RECOMENDACIONES

- ❖ Se recomienda realizar un apropiado uso de los suelos, teniendo en cuenta el modelamiento generado para la producción de café con buen rendimiento y buena calidad.
- ❖ Para la zona que tiene mayor porcentaje de erosión se sugiere que se planten cultivos que puedan regenerar los suelos especialmente las leguminosas.
- ❖ Se sugiere aprovechar mejor las zonas con buena fertilidad, clima y topografía, realizando plantaciones de cultivos tropicales o también el cultivo de café.
- ❖ Se recomienda complementar al presente proyecto de investigación, con un estudio detallado de cobertura vegetal, flora y fauna (plantas medicinales especies en peligro de extinción, animales exóticos o en peligro de extinción).
- ❖ Se recomienda hacer capacitaciones sobre zonificación y uso adecuado de los suelos a los trabajadores del CIP - Tambopata.
- ❖ Dejamos los resultados de las encuestas como aporte adicional para poder tener conocimiento sobre la realidad que acontece en la actualidad en el CIP Tambopata y sirva para implementar el plan de ordenamiento de los sistemas agrícolas, de esa manera el CIP, tenga un instrumento de gestión sostenible.

CAPÍTULO VII

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGENCIA ANDINA. (2018). ¡Qué orgullo! Peruana gana premio al mejor café del mundo en EEUU. Perú.com.
- Alvarado. (1994). Agrocadena de Café. Costa Rica.
- Alvarado, D. (2004). Identificación de territorios de Café (*Coffea arabica*) de calidad en el Salvador. Tesis Ing. Agr. Universidad el Salvador.
- Alzate, B. (2001). Imágenes Espaciales de la Superficie Terrestre Procesamiento Digital y Análisis de Extracción de Información Temática . Colombia.
- ANACAFÉ. (2012). Sombras del Cafetal. Asociacion Nacional de Cafe (ANACAFE).
- Arcila, J. (2007). Sistemas de Producción de café. Colombia.
- Blanco, N. (2000). Fisiología del cultivo de café. Nicaragua.
- Bosque, J. (2000). Sistema de Información Geográfica. Madrid Ediciones RIALP. Madrid: RIALP.
- Bruno, Q. C. (2015). Zonificación de las Unidades de producción y calidad de café orgánico (*Coffea arábica* L.) en el Valle de Alto Inambari Sandia. Universidad Nacional del Altiplano de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica. Puno-Perú.
- Buzai, G. (2000). La exploración Geodigital Buenos Aires - Argentina. Argentina.
- Cervantes, E. (2012). "Zonificación y análisis de la potencialidad agrícola y forestal de las tierras del CIP Camacani para su ordenamiento territorial". Tesis, Ingeniería Agronómica, UNA Puno. Puno-Perú.
- Chuvieco, E. (2010). Fundamentos de la Teledetección Espacial (3ra ed.). Madrid-España.
- Comisión. (2015). Informe final de la comisión de inventariado de plantaciones permanentes UNA - PUNO. Puno.
- COVER, C. L. (2010). Proyecto Corine Land Cover adaptada a Perú. Perú.

- DIGDM, D. D. (2014). Zonificación agroecológica económica del cultivo de café en el Ecuador continental a escala 1:250000 . Ecuador.
- Duicela, L. A. (2010). Influencia de métodos de beneficio sobre calidad organoléptica del café. Ecuador: Cofenac.
- FAO. (1997). Zonificación Agroecológica de sistemas agroforestales del cultivo de café. Ingeniería Agronómica, Maestría en edafología. México.
- Ferreira, F. A. (2012). Programación estocástica: modelo determinante equivalente y su implementación en el entorno del Software R. 20-38.
- Fischersworing, B. R. (2001). Guía de caficultura Ecológica. . Colombia.
- Fundes, B. G. (2012). Manual del Café. Segunda edición. Lima, Perú.
- GEOSYS. (2008). Sistema de Información de la Tierra.
- GICLI, M. (s.f.). Apuntes sobre la zonificación agroecológica de los cultivos.
- González, F. (2010). Manual técnico "cultivo de café en el Perú". Tingo Maria - Perú: Universidad Nacional Agraria de la Selva.
- Herrera, A. (2010). Suelos con Énfasis del altiplano. 1ra edición . Puno-Perú.
- Holdridge, L. (1971). Sistema de clasificación de zonas de vida .
- Lantada, N. y. (2004). Sistema de Información Geográfica Prácticas con ArcView, Ediciones Alfa omega Grupo Editor. México .
- León, E. (2015). Zonificación Agroecológica para Quinoa (*Chenopodium quinoa* W.) Aplicando el Sistema de Información Geográfica y teledetección en el Distrito de Samán. de Ing. agronómica. Puno-Perú.
- Loli, F. O. (2012). Guía técnica "Análisis de suelos y fertilización en el cultivo de café". San Martín-Perú: Agrobanco.
- M., B. N. (2000). Fisiología del cultivo de café. Nicaragua.
- Malca, M. (2017). El agricultor Raúl Mamani y la ruta del mejor café del mundo. La República.

- Marco, G. (2008). Manejo del recurso suelo mediante Sistema de Información Geográfica en el CIP Illpa Una Puno. Puno-Perú.
- Marín, G. (2013). Control de calidad del café. Manual técnico. Equipo Técnico del proyecto Fondoempleo. Programa Selva Central - Desco.(1ra ed.). Lima-Perú: Fondo.
- MINAM. (2010). Guía técnica de modelamiento SIG para la zonificación ecológica económica.
- MINAM. (2010). Manual Instructivo para el Levantamiento de Suelos en base al enfoque territorial para los procesos de macro, meso y micro Zonificación Ecológica Económica Dirección General de Ordenamiento Territorial . Lima-Perú.
- NCB. (2014). Clasificación taxonómica en base a datos moleculares.
- Ordenamiento, T. (2002). Definición de los conflictos de uso de tierras.
- PCM. (2004). Presidencia Consejo de Ministros. Decreto Supremo. N° 087-2004-PCM. Reglamento de ZEE. . Lima-Perú.
- Prieto, Y. A. (2002). Caracterización física del café semitostado. Fundación Universidad de América. Bogotá - Colombia.
- Quispe, A. (2018). Requerimientos agroecológicos del cultivo de café. Puno.
- Rimache, M. (2008). Cultivo de Café. Lima.
- Sánchez. (2011). Tipos de cafés producidos en el Perú según la altitud. Perú.
- Sánchez, R. C. (2005). Cultivo, Producción y comercialización del café. Ed. Ripalme. Lima, Perú.
- Soto, T. (2001). Metodología para la zonificación agroecológica del (Coffea arábica) en Cuba. Cuba: Macizo montañoso.
- Tapia, M. (2005). Zonificación Agroecológica. Curso de Post Grado, Universidad Agraria la Molina. Lima-Perú.
- Thorntwwaite y Hare. (1955). Clasificación climática.
- Thorntwwaite, C. (1948). Clasificación climática.

UGI. (1957). Clasificación de la categorías de uso actual de tierras. Perú.

Vaast, P. (2005). Date of harvest and altitude influence bean characteristics and beverage quality of *Coffea arabica* in intensive management conditions. HortScience In press.

Vélez, R. (2015). Rendimiento del cultivo de café, con el propósito de mejorar el ingreso del productor. Bogotá.

Vijaya. (2012). Estudio del agua de la tierra. concepto de agroecología e hidrometeorología.

Villota. (1997). El sistema CIAF de clasificación fisiográfica del terreno, vol 13. Costa Rica.

ANEXOS