

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES



**CARACTERIZACIÓN EDAFOCLIMÁTICA Y ALTITUDINAL DE ZONAS
CAFETALERAS APLICANDO TÉCNICAS SIG EN LA MICROCUENCA
POTRERILLO, REGIÓN SAN MARTÍN**

TESIS

Para optar el título de:

INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

MENCIÓN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA

WILDER LEVI TRUJILLO SALAS

TINGO MARÍA – PERÚ

2014



BIBLIOTECA CENTRAL - UNAS



T
CSA

TRUJILLO SALAS, WILDER LEVI

Caracterización edafoclimática y altitudinal de zonas cafetaleras
Aplicando técnicas SIG en la Microcuenca POTRERILLO, Región
SAN MARTÍN. Tingo María 2014.

105 páginas.; 33 cuadros; 45 figuras.; 24 ref.; 30 cm

Tesis (Ingeniero en Recursos Naturales Renovables – Conservación de
Suelos y Agua) Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María (Perú)
Facultad de Recursos Naturales Renovables.

1- PRECIPITACIÓN 2- TEMPERATURA 3- MATERIA ORGÁNICA

4- EDAFOCLIMÁTICAS 5- TEXTURA 6- MAPAS



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María – Perú



FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 18 de diciembre de 2012, a horas 4:00 p.m. en el Auditorio de la Escuela de Post Grado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, para calificar la Tesis titulada:

“CARACTERIZACIÓN EDAFOCLIMÁTICA Y ALTITUDINAL DE ZONAS CAFETALERAS APLICANDO TÉCNICAS SIG EN LA MICROCUENCA POTRERILLO, REGIÓN SAN MARTÍN”

Presentada por el Bachiller: **WILDER LEVI TRUJILLO SALAS**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara aprobado con el calificativo de **“BUENO”**

En consecuencia, el sustentante queda apto para optar el Título de **INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES**, mención **CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA**, que será aprobado por el Consejo de Facultad, tramitándolo al Consejo Universitario para la otorgación del Título correspondiente.

Tingo María, 18 de diciembre de 2012.

Ing.MSc. **LUCIO MANRIQUE DE LARA SUÁREZ**
PRESIDENTE

Ing. **JORGE ADRIAZOLA DEL AGUILA**
VOCAL

Ing. MSc. **VICENTE POCOMUCHA POMA**
VOCAL

Ing. **RICARDO M. CHAVEZ ASENCIO**
ASESOR



DEDICATORIA

A Dios; por su amor incomparable y servir de fuente de inspiración absoluta.

A mis padres Gladis Vilma Salas Mozo y Juvenal Trujillo Carbajal; por su apoyo continuo, dedicación y confianza, además de sus sabios consejos para ser cada día mejor.

A mi Abuelos Ernestina Mozo y Ciro Salas, a mi hermano Luis Ever y a mi tía Vilma Silva Mariño; por su constante entusiasmo y muestras de cariño y afecto.

A mis compañeros de Universidad; por sus grandes muestras de compañerismo, solidaridad y respeto, y por su enorme apoyo moral.

AGRADECIMIENTO

Durante mi formación profesional, personal y elaboración de la investigación he recibido el valioso consejo y apoyo incondicional de diversas personas, a quienes deseo expresar mi más profundo reconocimiento:

A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, en especial a la Facultad de Recursos Naturales Renovables que contribuyeron a mi formación profesional.

A los docentes de la Facultad de Recursos Naturales Renovables, en especial a los docentes de la especialidad de Conservación de Suelos y Agua quienes entregaron todos sus conocimientos y experiencias en bien de formar buenos profesionales.

Al Ing. Ricardo Martín Chávez Asencio, por su apoyo desinteresado e invaluable como asesor para realizar la investigación. Muchas gracias por su paciencia, confianza y dedicación.

Al Ing. Luis Gonzales Pinedo, gerente general de la Cooperativa Agraria Cafetalera "Fe y Esperanza" valle del Alto Mayo – Ltda., por su aporte con sus conocimientos y experiencias para la realización de esta investigación.

A la Cooperativa Agraria Cafetalera "Fe y Esperanza" valle del Alto Mayo – Ltda., y sus trabajadores; por la acogida y apoyo logístico que me brindaron en todo momento para la realización del presente investigación.

A mis amigos Rudy Ruiz Pérez, Roy Suarez Vela, Randy Gonzales Vásquez, Johan García Márquez y Vanessa Reyes Pérez; quienes comparten conmigo una amistad genuina, siendo mi apoyo durante toda la carrera profesional y en la ejecución del presente trabajo.

A mis amigos Fernando Ore, Mauro Alvarado, Claudia Soto, Gey Rengifo, Joe García, Jayro Cóndor, Luz Sales y Javier Méndez; quienes compartieron conmigo las clases universitarias y me brindaron siempre su apoyo.

ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. <i>Coffea arábica</i> L.....	4
2.2. Variedades de café cultivadas en el Perú	5
2.3. Caracterización de cafetales	7
2.3.1. Definición.....	7
2.3.2. Factores climáticos determinantes de la competitividad del café	7
2.4. Componente ambiental	8
2.4.1. Clima	8
2.4.2. Suelo	12
2.4.3. Altitud	20
2.5. Sistema de información geográfica (SIG)	21
2.5.1. Aplicación de los SIG en el estudio de los recursos naturales.....	24
2.5.2. Modelamiento SIG.....	24

2.5.3. Satélite Landsat 5 – TM.....	25
2.5.4. Modelos de elevación digital (DEM)	26
III. MATERIALES Y MÉTODOS	30
3.1. Características generales del área de estudio	30
3.1.1. Ubicación.....	30
3.1.2. Humedad	31
3.1.3. Temperatura.....	31
3.1.4. Geología.....	31
3.1.5. Fisiografía.....	32
3.1.6. Hidrografía.....	34
3.2. Materiales	34
3.2.1. Material cartográfico	34
3.2.2. Material satelital.....	34
3.2.3. Hardware y software.....	35
3.2.4. Equipo y material de campo	35
3.3. Componentes de estudio	36
3.4. Metodología	36
3.4.1. Primera fase	38

3.4.2. Segunda fase	41
3.4.3. Fase III	52
IV. RESULTADOS	56
4.1. Factor climático.....	56
4.1.1. Precipitación (mm).....	56
4.1.2. Temperatura (T)	59
4.2. Factor edáfico	63
4.2.1. Materia orgánica (M.O.).....	63
4.2.2. Reacción del suelo (pH)	66
4.2.3. Textura (Tx).....	70
4.3. Factor altitudinal.....	72
4.3.1. Altitud	72
4.4. Modelamiento climático (precipitación y temperatura)	73
4.5. Modelamiento edáfico (pH, textura y materia orgánica).....	75
4.6. Modelamiento edafo - climática (pH, textura, materia orgánica, precipitación y temperatura).....	78
4.7. Modelamiento edafo - climática y altitudinales (zonas productivas)	83
4.8. Validación de resultados	88

V.	DISCUSIÓN.....	90
VI.	CONCLUSIONES.....	102
VII.	RECOMENDACIONES.....	104
VIII.	ABSTRACT	105
IX.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	107
	ANEXO	111

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Características de altitudes óptimas para el café.	8
2. Características climáticas óptimas para el café.....	9
3. Tamaño de las partículas del suelo.	19
4. Parámetros de evaluación.....	36
5. Ubicación de las estaciones instaladas en el área de estudio.	40
6. Ubicación de las estaciones instaladas en el área de estudio.	40
7. Criterio de evaluación de la precipitación.....	42
8. Criterio de evaluación de la temperatura.....	43
9. Unidades de muestreo (áreas homogéneas).	44
10. Número de sub muestras.	45
11. Criterio de evaluación de materia orgánica.	47
12. Criterio de evaluación de la reacción del suelo (pH).	48
13. Criterio de evaluación de la textura.	49
14. Criterio de evaluación de las alturas.	50
15. Tipos de cobertura en la microcuenca Potrerillo.	51

16.	Promedio de las variables por el método combinatorio a través del principio de multiplicación.....	54
17.	Criterio de evaluación de las zonas cafetaleras.....	54
18.	Distribución de la precipitación en la microcuenca Potrerillo.....	56
19.	Análisis de varianza de la relación entre la precipitación (mm) y la altitud (m.s.n.m).....	59
20.	Distribución de la temperatura en la microcuenca Potrerillo.....	61
21.	Análisis de varianza de la relación entre la temperatura (°C) y la altitud (m.s.n.m).....	62
22.	Distribución del porcentaje (%) de la materia orgánica en la microcuenca Potrerillo.....	63
23.	Análisis de varianza de la relación entre la temperatura (°C) y la materia orgánica (%).	66
24.	Distribución del contenido del pH en la microcuenca Potrerillo.....	67
25.	Textura (1978).....	70
26.	Estratificación de la microcuenca Potrerillo.....	73
27.	Modelamiento climático.....	73
28.	Modelamiento edáfico.....	75
29.	Modelamiento Edafo – Climático.....	78

30.	Niveles de producción según las condiciones edafo – climáticas.....	80
31.	Modelamiento edafo – climático y altitudinales.	83
32.	Niveles de producción según las condiciones edafo – climáticas y altitudinales.	88
33.	Validación de los resultados.....	89

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1.	Mapa de ubicación de la microcuenca Potrerillo.	121
2.	Mapa geológico de la microcuenca Potrerillo.	32
3.	Mapa fisiográfico de la microcuenca Potrerillo.	33
4.	Flujograma del proceso de determinación de la precipitación promedio de la microcuenca Potrerillo.	42
5.	Flujograma del proceso de determinación de la temperatura media promedio de la microcuenca Potrerillo.	43
6.	Mapa de unidades de muestreo de la microcuenca Potrerillo.	45
7.	Flujograma del proceso de determinación del porcentaje de materia orgánica de la cuenca estudiada.	47
8.	Flujograma del proceso de determinación del pH de la cuenca estudiada.	48
9.	Flujograma del proceso de determinación de la textura de la cuenca estudiada.	49
10.	Flujograma del proceso de determinación de las altitudes de la cuenca estudiada.	50
11.	Proceso de determinación el uso actual de tierras (UAT).	51

12.	Uso actual de tierras de la microcuenca Potrerillo.	52
13.	Modelamiento SIG.....	53
14.	Mapa de isoyetas de la microcuenca Potrerillo.	57
15.	Mapa de isoyetas evaluados de la microcuenca Potrerillo.	58
16.	Relación de la precipitación (mm) con la altitud (m.s.n.m).	59
17.	Mapa de isotermas de la microcuenca Potrerillo.....	60
18.	Mapa de isotermas evaluados de la microcuenca Potrerillo.	61
19.	Relación de la temperatura (°C) con la altitud (m.sn.m).....	62
20.	Mapa de distribución espacial de la materia orgánica en la microcuenca Potrerillo.	64
21.	Mapa de distribución de la materia orgánica evaluado en la microcuenca Potrerillo.	65
22.	Relación de la materia orgánica (%) con la temperatura (°C).	66
23.	Distribución espacial del pH en la microcuenca Potrerillo.	68
24.	Distribución del pH evaluado de la microcuenca Potrerillo.....	69
25.	Mapa de distribución de la textura en la microcuenca Potrerillo.	71
26.	Mapa de altitudes de la microcuenca Potrerillo.	72

27.	Mapa climático.	74
28.	Mapa edáfico de la microcuenca Potrerillo.	77
29.	Mapa edafoclimático.	81
30.	Nivel de producción de la microcuenca Potrerillo bajo condiciones edafoclimáticas.	82
31.	Niveles de producción de la microcuenca Potrerillo según condición edafo - climática y altitudinal.	88
32.	Mapa de Zonas productivas con sus respectivos valores totales.	86
33.	Mapa de caracterización edafoclimático y altitudinal de la microcuenca Potrerillo.	87
34.	Realizando muestreo de suelo.	112
35.	Tomando puntos de control.	112
36.	Verificación del uso actual de tierras.	113
37.	Estación meteorológica Potrerillo.	113
38.	Plantaciones de café en plena floración.	114
39.	Cafetales instalados en pendientes muy empinado (mayores a 60%).	114

40.	Enfermedad de de presencias de musgos causados por excesivas precipitaciones.....	115
41.	Plantación con presencia de granos vanos.....	115
42.	Frutos con buena densidad de granos.....	116
43.	Encuestando a los agricultores de la microcuenca Potrerillo.....	116
44.	Validando la información en campo.....	117
45.	Encuestando a los agricultores en campo.....	117

RESUMEN

Frente al manejo con limitado criterio técnico e incumplimiento de la zonificación económica y ecológica del Valle del Alto Mayo por parte de los caficultores, se planteó el objetivo de determinar las mejores condiciones edafoclimáticas y altitudinales de las zonas cafetaleras de la microcuenca Potrerillo, distrito Jepelacio, provincia Moyobamba, departamento San Martín; entre enero y junio 2012 se realizaron trabajos de: pre campo, campo y la interacción de variables. Se identificaron las propiedades físico – químicas de los suelos de la microcuenca, se obtuvo resultados como la materia orgánica varía entre 1.3 - 4.49, el pH oscila de 3.95 a 6.45, siendo el nivel óptimo éste último valor; la textura óptima es la media, encontrada en un área de 660.51 ha; la mejor altitud varía desde los 1200 a 1650 msnm y comprende un área de 899.40 ha. Las condiciones edafoclimáticas en la microcuenca Potrerillo también fueron evaluadas, considerando características de: aptitud, potencial, limitaciones o riesgos geodinámicos, a través del modelamiento SIG, mediante la superposición de mapas temáticos, con los que se encontró: que las precipitaciones óptimas oscilan entre los 1600 a 1800 mm/año y se dan en la parte media y alta de la cuenca, que abarca una extensión de 570 ha; las condiciones de temperatura son óptimas en la unidad 2 con una oscilación de 20.3°C a 22°Cse que comprende un área de 581.97 ha. Finalmente se determinó que el 50.57% (593.62 ha) del área de la microcuenca presenta las mejores condiciones edafoclimáticas y altitudinales para la producción de café.

I. INTRODUCCIÓN

En el distrito de Jepelacio, provincia de Moyobamba, Región San Martín, la actividad cafetalera ha tomado gran importancia como una alternativa económica lícita para el productor nativo y el migrante. En los últimos años la recuperación de los precios en el mercado internacional en aproximadamente un 60% por quintal, ha determinado el incremento de nuevas áreas cafetaleras convirtiéndose así en un distrito netamente cafetalero (PEAM, 2010).

Los caficultores de Jepelacio manejan sus unidades productivas con limitado criterio técnico y muestran poco interés en las pautas generadas en el estudio de zonificación económica y ecológica del valle Alto Mayo, motivo por la cual, existen cafetales en zonas de alta pendiente y tierras de protección, manejadas con escasas prácticas conservacionistas; hecho que se traduce en los bajos rendimientos de calidad y cantidad del producto, afectando directamente la economía y por ende la calidad de vida de los cafetaleros del área de estudio. En los últimos años los Sistemas de Información Geográfica se han convertido en una potente sistema que ayuda de manera significativa en el análisis rápido de grandes volúmenes de información, además de utilizar muy poco el material logístico (GLIMS, 2005).

Es pues necesario realizar la caracterización edafoclimática y altitudinal de las zonas cafetaleras que se ubican dentro de la Microcuenca Proterillo para determinar su potencial productivo usando la metodología propuesta por PROAMAZONIA (2003), la cual considera los parámetros: precipitación (mm), temperatura (°C), reacción del suelo (pH), textura, materia orgánica, y altitud como los más influyentes en la caracterización ambiental de cafetales de un área determinada, esta metodología requiere el modelamiento de estos parámetros, utilizando las herramientas SIG, para así determinar el uso adecuado de los suelos y correcto manejo agronómico de los cafetales, sin comprometer a los demás recursos naturales, asimismo conformar una base de datos de las condiciones en que se encuentra la microcuenca.

Hipótesis: Los parámetros edafoclimáticos y altitudinales: precipitación, temperatura, reacción del suelo, textura, materia orgánica y altitud influyen en la caracterización ambiental de los cafetales de la microcuenca Proterillo de la Región San Martín

Objetivo general

- Caracterizar en forma edafoclimática y altitudinal las zonas cafetaleras de la microcuenca Potrerillo aplicando técnicas SIG.

Objetivo específicos

- Determinar la cantidad y distribución espacial de los factores climáticos (precipitación y temperatura).
- Identificar las propiedades físico – químicas de los suelos, con énfasis

en los parámetros textura, pH y materia orgánica.

- Determinar los gradientes altitudinales de la microcuenca Potrerillo.
- Realizar el modelamiento de los componentes ambientales.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. *Coffea arabica* L.

El café arábigo (*Coffea arabica* L.; syn.: *Coffea vulgaris* Moench, *C. laurijolia* Salisb.) es nativo de las tierras altas de Etiopía, en elevaciones que oscilan entre los 1,350 y los 2,000 m. Es posiblemente nativo de otras partes de África y Arabia en el Asia. Se trata de un arbusto o árbol pequeño liso, de hojas lustrosas. Las hojas son relativamente pequeñas, pero varían en anchura, promediando de 12 – 15 cm de largo y más o menos 6 cm de ancho, de forma oval o elíptica, acuminadas, cortas, agudas en la base, algunas veces un tanto onduladas, siempre vivas (PNC, 2010).

Flores fragantes, de color blanco o cremoso, subsésiles o muy cortamente pediculados, varias en cada axila de las hojas, de 2 – 9 o más juntas en racimos axilares muy cortos o laterales bracteolados; las bractéolas son ovadas, los más internos connatos en la base de los pedicelos, cayéndose pronto del cáliz adyacente al limbo poco profundo, subtruncado u obtusamente 5-denticulado; la corola es de cinco lóbulos, éstos son ovales, obtusos o puntiagudos, igualando o excediendo el tubo, extendiéndose; las anteras más cortas que los lóbulos-corola, completamente salientes, fijos un poco abajo de la mitad de los filamentos los que son más o menos de la mitad de su largo (PNC, 2010).

2.2. Variedades de café cultivadas en el Perú

La variedad de la planta es naturalmente otro factor determinante de la productividad y calidad. La adecuación y ventajas de cada variedad dependen de las condiciones físicas y biológicas del medio en que se localizan, considerando además, las condiciones socioeconómicas del agricultor y de la comunidad. Para la mayoría de zonas cafetaleras del país, la variedad Typica es preferida por las ventajas de su rendimiento y excelente calidad de grano, y prevalece por su adecuación a las condiciones de medios limitados de producción y ciertas restricciones del ambiente, como son la baja fertilidad de los suelos y presencia de sequías temporales.

En el Perú existen las variedades: Typica, Caturra, Pache, Mundo Novo, Bourbón, Caturra, Catuai y Catimor. Para mayor comprensión, se describen a continuación las características más importantes.

La variedad typica, originaria de Etiopía, llegó al Perú hace más de 150 años. Posee características favorables con relación a otras variedades: el tamaño relativamente grande de su grano, superior calidad como bebida, rusticidad de la planta a condiciones adversas de baja fertilidad y sequía, resistencia de sus ramas al maltrato durante la cosecha. Son de porte alto y no es resistente a la roya. Es la variedad de mayor adaptación por parte de pequeños y medianos cafetaleros, que por lo general, ocupan las tierras de más baja fertilidad y que utilizan limitadas cantidades de abonos y fertilizantes (PNC, 2010).

La variedad Caturra (roja y amarilla), son mutantes de la variedad de café Bourbon propagado en Brasil, e introducidas en el Perú a través de la ex. Estación Experimental de Tingo María en 1950. Son de porte enano, destacan por su alta productividad, pero requieren de constante fertilización y podas productivas. El tamaño de grano, comparado con el Typica, es relativamente pequeño. En la mutante roja de Caturra los frutos adquieren un color rojo vinoso a la madurez, mientras que en la mutante amarilla, un color amarillo. Esta última ha mostrado algo más de productividad, pero menor retención de los frutos maduros con relación a la Caturra roja.

La variedad Pache, es originaria de Guatemala e introducida al Perú por el Centro de Introducción de Plantas de Beltsville, Estado de Maryland, Estados Unidos de Norte América en 1950. Es una variedad de porte similar a las Caturras, rústica, alta productividad y tamaño de grano muy cerca de la Typica, Sus rendimientos por planta se ven favorecidos por la fertilización constante (PNC, 2010).

La variedad Bourbon, originaria de la isla Bourbon, en el Caribe, de porte mediano. Bajo condiciones óptimas, la formación continua de nuevas ramas y brotes florales garantiza una producción sostenida. Por el color del grano se distinguen dos tipos de café Bourbon: el de color rojo/ vino tinto y el de color amarillo/ anaranjado. Comparada con la variedad typica, es más productiva pero su grano es de menor tamaño

La variedad Catimor, es un híbrido que se origina del cruzamiento de "Caturra Roja" y un híbrido de Timor", proviene del Centro Agrícola Tropical

de Investigación y Enseñanza de Turrialba en Costa Rica, e introducida en el Perú en 1983. Tiene relativamente alta productividad en las áreas sujetas a una actividad caficultora intensiva, con grandes cantidades de fertilizantes. No es recomendable para repoblamiento de cafetales de otras variedades de café, ni para suelos de baja fertilidad, los cuales caracterizan a la mayoría de las zonas cafetaleras del Perú. Es resistente a la roya.

2.3. Caracterización de cafetales

2.3.1. Definición

La caracterización de cafetales, consiste en generar una base de datos que permita apreciar en una forma ordenada y sistemática las condiciones de competitividad en la producción del café que caracterizan las principales zonas cafetaleras del país. Esta información, servirá para formular estrategias de desarrollo y proyectos específicos (productivos) en función de las condiciones reales de cada zona y, por lo tanto, más adecuadas para resolver los problemas que las afectan (PROAMAZONÍA, 2003).

2.3.2. Factores climáticos determinantes de la competitividad del café

En la producción de campo son numerosos los factores que afectan la productividad y calidad del café. Los resultados en estas dos variables son la consecuencia de una compleja interacción entre la genética y fisiología de la planta, el suelo, los factores climáticos, de los cuales el

componente ambiental es el más importante para identificar zonas según aptitud productiva (PROAMAZONÍA, 2003).

2.4. Componente ambiental

2.4.1. Clima

El clima de la selva tropical, área donde se cultiva el café, es variable según zonas cafetaleras, debido a la combinación de diversos factores; entre los cuales tenemos, altitud, nubosidad, precipitación, radiación solar, etc. Los factores climáticos considerados como los más determinantes para un buen desarrollo de las plantaciones de café son la temperatura y la precipitación (PROAMAZONÍA, 2003).

Según CASTAÑEDA (1997). El clima es el conjunto de temperatura y lluvias. El clima afecta de la campaña cafetalera. Las zonas cafetaleras en el Perú van desde los 600 a 1600 m.sn.m y tiene tres zonas.

Cuadro 1. Características de altitudes óptimas para el cafeto.

Zona baja	600 – 900 m.s.n.m
Zona media	900 – 1200 m.s.n.m.
Zona alta	1200 – 1600 m.s.n.m.

Las condiciones de temperatura en el Perú son ideales para producir café de alta calidad. Sin embargo la mala cosecha y el mal beneficio malogran la calidad del café (CASTAÑEDA, 1997).

Cuadro 2. Características climáticas óptimas para el caféto.

Temperatura media	18 a 20 °C
Lluvias	1200 mm/año
Luminosidad	150 horas sol/mes

2.4.1.1. Precipitaciones para el cultivo del café

El comportamiento de la precipitación (principalmente lluvias) redonda su importancia por ser la fuente de abastecimiento de agua para la humedad del suelo. Es importante que las precipitaciones tengan una buena distribución para satisfacer los requerimientos de agua de la planta en las etapas de floración, llenado de grano y cosecha. La cantidad requerida por el café para un buen crecimiento y desarrollo es de 1,600 a 1,800 mm/año (PROAMAZONÍA, 2003).

Según CASTAÑEDA (1997), las lluvias determinan el inicio de la campaña cafetalera, favorece el crecimiento de la planta, la floración y la fructificación donde la época más importante es la del llenado del grano.

El comportamiento de las lluvias no son uniformes durante todos los años y en muchas zonas son escasas, lo que determina que las plantaciones de café en el Perú deben de tener sombra permanente. Por cada 100 metros que subimos las lluvias aumentan entre 10 a 25 mm/mes.

a. Método de las isoyetas para determinar la distribución espacial de la precipitación en una cuenca

Este es uno de los métodos más precisos, pero es subjetivo y dependiente del criterio de algún profesional que tenga buen conocimiento de las características de la lluvia en la región estudiada. Permite incorporar los mecanismos físicos que explican la variabilidad de la lluvia dentro de la cuenca. El método consiste en trazar líneas de igual precipitación llamadas isoyetas a partir de los datos puntuales reportados por las estaciones meteorológicas.

Al área entre dos isoyetas sucesivas, se le asigna el valor de precipitación promedio entre tales isoyetas. Conociendo el área encerrada entre pares sucesivos de isoyetas, obtenemos la precipitación regional. El método requiere hacer supuestos en cimas y hoyos.

Al trazar las isoyetas para lluvias mensuales o anuales, podemos incorporar los efectos topográficos sobre la distribución espacial de la precipitación, tomando en cuenta factores tales como la altura y la exposición de la estación. También se recomienda este método para calcular promedios espaciales en el caso de eventos individuales localizados (APARICIO, 1999).

2.4.1.2. Temperaturas para el cultivo del café

Las temperaturas medias exigidas para un mejor crecimiento y desarrollo de las variedades de café cultivado, están en el rango de 18 a 22 °C, este factor climático incide en el desarrollo fenológico del cultivo. Las

plantaciones ubicadas en zonas con temperaturas medias máximas y mínimas que están por encima y debajo del rango indicado “probablemente” vean influenciadas su crecimiento vegetativo, floración y desarrollo del fruto (PROAMAZONÍA, 2003).

El café se cultiva en lugares con una precipitación que varía desde los 750 mm anuales (7.500 m³/ha) hasta 3000 mm (30.000 m³/ha), si bien el mejor café se produce en aquellas áreas que se encuentran en altitudes de 1200 a 1700 metros, donde la precipitación pluvial anual es de 2000 a 3000 mm y la temperatura media anual es de 16 °C a 22 °C. Pero aún más importante es la distribución de esta precipitación en función del ciclo de la planta. Podemos decir que el cultivo requiere una lluvia (o riego) abundante y uniformemente distribuida desde comienzos de la floración hasta finales del verano (Noviembre – Septiembre) para favorecer el desarrollo del fruto y de la madera. En otoño sin embargo es conveniente un período de sequía que induzca la floración del año siguiente (PNC, 2010).

Las altas temperaturas aceleran la maduración de los frutos y un mal llenado de los granos del cafeto, así como también los cafés que están expuestas a las altas temperaturas son propensos a producir granos de baja densidad por la concentración de la hormona ácido abscísico (ESCARRAMAN, 2007).

Según CASTAÑEDA (1997), la temperatura en el Perú determina la calidad del café. La media óptima es de 18 a 20 °C. Las condiciones de

temperatura en el país favorecen para producir café de altísima calidad siempre y cuando realicemos una buena cosecha y un buen beneficio. Por cada 100 metros que subimos, la temperatura disminuye entre 0.3 y 0.5 °C.

2.3.1.2.1 Metodo de isotermas para determinar la distribucion espacial de la temperatura en una cuenca

La isoterma es una curva que une los puntos, en un plano cartográfico, que presentan las mismas temperaturas en la unidad de tiempo considerada. Así, para una misma área, se pueden diseñar un gran número de planos con isotermas, por ejemplo: Isotermas de la temperatura media de largo periodo del mes de enero, de febrero, etc., o las isotermas de las temperaturas medias anuales (APARICIO, 1999).

2.4.2. Suelo

Es la porción superficial de la corteza terrestre que ha sido alterada "In situ" en capas que difieren una de la otra y de los materiales más profundos no alterados o roca sólida (ZAVALETA, 1992). Puede considerarse como un sistema natural desarrollado a partir de una mezcla de minerales y restos orgánicos, bajo la influencia del clima y medio biológico. Se divide en horizontes y al contener cantidades apropiadas de aire y agua suministran los nutrientes y el sostén que requieren las plantas (CEPEDA, 1991).

De manera general, los suelos de Selva se caracterizan por presentar características físicas adecuadas para fomentar la agricultura

tropical, éstas son: profundidad, textura, estructura. Es necesario resaltar, que las características químicas como el pH, Materia Orgánica (MO) y los elementos minerales como el nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, etc., son los que en el tiempo han sufrido cambios en su contenido, lo cual viene afectando el desarrollo de diversas plantaciones. Actualmente los suelos cafetaleros están siendo degradados como consecuencia del mal manejo y fuertes pendientes. Los resultados de pH y MO por zonas cafetaleras, son estimados como resultado del análisis realizado por zonas de manera localizadas (PROAMAZONIA, 2003).

2.4.2.1. Materia orgánica en el suelo

La materia orgánica del suelo debe definirse como la fracción orgánica del suelo que incluye vegetales y animales en diferentes estados de descomposición, tejidos y células de organismos que viven en el suelo y sustancias producidas por los habitantes del mismo (CEPEDA, 1991).

La materia orgánica contiene alrededor de 5% de N total, por lo tanto, es una bodega que acumula reservas de N. Pero el N en la materia orgánica se encuentra formando parte de compuestos orgánicos y no está inmediatamente disponible para el uso de las plantas, debido a que la descomposición ocurre lentamente. Aun cuando un suelo contenga abundante materia orgánica, es necesario el uso de fertilizantes nitrogenados para asegurar a los cultivos (a excepción de las leguminosas) una fuente adecuada de N disponible, especialmente en cultivos que requieren de altas cantidades

de N. Los residuos vegetales y animales contienen cantidades variables de nutrientes como P, Mg, Ca, S y micronutrientes. A medida que la materia orgánica se descompone, estos nutrientes pasan a ser disponibles para la planta en crecimiento. Algunos suelos tienen muy poca materia orgánica. En áreas tropicales, la mayoría de los suelos tienen contenidos bajos de materia orgánica debidos a las altas temperaturas y a la abundante precipitación que aceleran el proceso de descomposición (HUERTA, 2005).

a. Contenido de materia orgánica en suelos cafetaleros

El contenido de MO de los suelos es importante no solo por su relación con la capacidad de retener humedad y nutrientes, sino por el mejoramiento de la estructura de los suelos. El porcentaje de MO en los primeros 20 cm de suelo debe estar entre 2% y 4% para un mejor crecimiento y desarrollo de la planta (PROAMAZONIA, 2003).

El contenido de materia orgánica en los suelos disminuye a medida que aumenta la temperatura media anual y disminuye la precipitación media anual. La productividad primaria neta de un ecosistema es el producto de la estabilidad dinámica y se fundamenta en el suministro continuo de hojarasca. Los cafetales cultivados bajo sombra no presentan mucha diferencia respecto al bosque caducifolio. El contenido de materia orgánica en el suelo favorece el reciclaje de nutrimentos, favorece el crecimiento y desarrollo de raíces adventicias y área de absorción radicular y disminuye la incidencia de problemas con nematodos. Es una práctica común en el cultivo orgánico de

café la adición de materia orgánica como broza de café, gallinaza, compost, abono bocashi y otros, con el fin de elevar el contenido de materia orgánica del suelo (MONGUE, 1999).

La materia orgánica de los cafetales se origina de los restos vegetales como las hojas, ramas, tallos, etc., que caen al suelo, y que poco a poco se transforman por descomposición y mineralización en nutrientes solubles y por humificación a complejos coloidales húmicos que favorecen la nutrición del cafeto y el crecimiento de las raíces. En el resultado del análisis de suelos, el contenido de materia orgánica se reporta en porcentaje (%), por Ejemplo, el porcentaje Optimo de MO para el cafeto está entre el 2.1 a 5.7%, los valores menores a 2.1% indican suelos bajos en MO, mientras que un valor arriba de 5.7% indica exceso (QUIJANO, 2008). El contenido de materia orgánica favorece al suelo formando una buena estructura, para que el agua pueda ser retenida y las raíces empiezan a absorber agua y sustancias minerales (CASTAÑEDA, 1997).

b. Efecto de la materia orgánica sobre las propiedades del suelo

La materia orgánica ofrece una variedad de beneficios que condicionan al suelo para lograr las producciones que permite la oferta ambiental. Un resumen de estas condiciones se presenta a continuación.

Efecto de la materia orgánica en las propiedades físicas:

- Mejora la estructura del suelo.
- Aumenta la agregación de las partículas y el suelo resiste mejor la erosión.
- Incrementa la aireación, la permeabilidad y la retención de humedad.

Efecto de la materia orgánica en las propiedades químicas:

- Aumenta la capacidad buffer o resistencia a cambios de pH.
- Aumenta la capacidad de intercambio de cationes.
- Suministra nutrientes al cultivo.

Efecto de materia orgánica en las propiedades biológicas:

Incrementa la actividad de los microorganismos que ayudan a la mineralización de los residuos orgánicos.

Un suelo puede ser fértil pero improductivo, es decir, de condiciones físicas inadecuadas. Un suelo puede ser infértil pero productivo, es decir de buenas condiciones físicas, en este caso el suelo puede ser manejable desde el punto de vista químico (VALENCIA, 2005).

2.4.2.2. Reacción del suelo o pH

Es una característica de la solución del suelo condicionada por la concentración de iones H^+ (hidrogeno) y OH^- (oxhidrilo). La proporción de iones

H^+ a OH^- en la solución suelo determina el grado de acidez o alcalinidad. Si hay mayor concentración de iones H^+ , se dice que la reacción es acida, pero si hay mas iones OH^- , la reacción es alcalina pero si la concentración de iones H^+ es igual a la de iones OH^- , la reacción es neutra (ZAVALETA, 1992).

La reacción del suelo viene expresada por el pH, que corresponde a su fase acuosa o disolución. Por lo tanto, esta como los coloides ionizables presentes en el, son los regulan sus distintos valores. En función de ellos son posibles tres condiciones: acidez, neutralidad y alcalinidad (NAVARRO, 2003).

a. El pH en suelos cafetaleros

El termino pH define la acidez y basicidad relativa de una sustancia (en este caso suelo), también se conoce como la concentración de iones hidrógeno. Un valor de pH 7.0 es neutro, los valores menores a 7.0 son ácidos y los superiores a 7.0 son básicos. La importancia del pH radica en que los nutrientes del suelo y los organismos biológicos que transforman los minerales para que sean disponibles en la solución del suelo y absorbidos por el cafeto necesitan estar en un rango de pH adecuado. Ejemplo, cuando el pH es menor de 4.0 es nominado Extremadamente Ácido (EA) y cuando tiene el valor entre 4.1 y 4.9 Muy Fuertemente Ácido (MFA), en ambos casos el Fósforo se combina con el Hierro y el Aluminio para formar compuestos minerales insolubles que el cafeto no puede utilizarlos, debido a que es una acumulación toxica que afecta el crecimiento vegetativo: raíces, tallos y ramas. El suelo para el cultivo del café tiene rango óptimo de pH entre, 5.5 y 6.5, nominado de

Mediano a Ligeramente Acido y es en este rango, que la mayor parte de los elementos minerales están disponibles para la su nutrición (QUIJANO, 2008).

El pH que es la medida de la acidez del suelo, debe estar, según algunos especialistas, entre 5.5 - 6.5, estos valores indican que el café es una planta tolerante a suelos ácidos, un pH menor a 4.5, indica la presencia de toxicidad de aluminio en el complejo de cambio y que dificulta el desarrollo de las raíces y la absorción de nutrientes (PROAMAZONÍA, 2003).

El conocimiento del valor del pH del suelo es muy útil para el manejo de una buena fertilización. Valores entre 5.5 y 6.5 se consideran adecuados para café. En este rango de pH ocurre cierto grado de actividad microbiana que mineraliza los residuos orgánicos para dejar disponibles nutrientes, especialmente N, P, S y elementos menores.

Si el pH es inferior a 5.5, puede presentarse toxicidad por aluminio (Al) y/o Mn o pueden presentarse deficiencias de P, Ca, Mg, K, B, Cu y Zn. Si el pH es superior a 6.5, pueden ocurrir deficiencias de P, B, Fe, Cu, Zn. Lo anterior permite afirmar que si se conserva el pH del suelo entre 5.5 y 6.5, y si además se hace uso de materiales orgánicos descompuestos, no existirán problemas de elementos menores o S en el cafetal (VALENCIA, 2005).

2.4.2.3. Textura del suelo

La textura del suelo es determinada por la cantidad de arena, limo y arcilla contenidos en el suelo. Cuanto más pequeña sean las partículas, mas

la textura será de tipo arcilloso y cuanto más grande, mas se aproximará al tipo arenoso (INPOFOS, 1988).

Cuadro 3. Tamaño de las partículas del suelo.

Nombre del Componente	Diámetro (mm)
Arena muy fina	2.00-1.00
Arena gruesa	1.00-0.50
Arena media	0.50-0.10
Arena fina	0.25-0.10
Arena muy fina	0.10-0.05
Limo	0.05-0.002
Arcilla	menos de 0.002

Fuente: Departamento de Agricultura de los EEUU (USDA).

Las partículas de arena son las de mayor tamaño y se caracterizan por presentar un tacto grumoso. El limo es la partícula de tamaño intermedio, situada entre las arenas y la arcilla. La arcilla es la partícula más pequeña. Las combinaciones de arena, limo y arcilla normalmente se describen de la siguiente manera:

- Textura fina : suelos formados por partículas de arcilla.
- Textura media : suelos de naturaleza limosa.
- Textura gruesa : suelos con un alto contenido de arena.

a. Textura en suelos cafetaleros

Los mejores suelos para el cultivo del café, son los de textura media (Francos) casi la mayor parte de los suelos de la ceja de selva peruana donde se cultiva el café (alfisoles, entisoles, inceptisoles) tienen buenas propiedades físicas buena textura, estructura, profundidad, aireación, retención de humedad (MUÑOS, s/d).

.La textura está determinada por los componentes del suelo arena, limo y arcilla. La arcilla es uno de los principales constituyentes pues interviene en los procesos para que la planta absorba los elementos minerales del suelo.

Si el suelo es muy arcilloso el agua se encharca y las raíces no tienen oxígeno para respirar y limita el desarrollo de la planta. Si el suelo es muy arenoso el agua se escurre rápidamente limitando el desarrollo de la planta (CASTAÑEDA, 1997).

2.4.3. Altitud

En cuanto al relieve y fisiografía, las zonas cafetaleras presentan características muy particulares, con pendientes que van desde 30% a 80%, pero para lograr una buena producción no deben estar por encima de 60% de pendiente, presentando así paisajes con colinas que fluctúan entre 500 y 2600 msnm. Las altitudes mayores a 1200 msnm presentan mejores condiciones de clima para la producción de café de excelente calidad (PROAMAZONÍA, 2003).

ESCARRAMAN (2007) añade que los cafetales instalados por encima de los 1200 m.s.n.m., el desarrollo de los granos es lento obtienen una mayor densidad (g/cm^3), estructuras esponjosas con mayor contenido de compuestos sólidos y aromáticos. En cambio es zonas bajas por debajo de los 1200 m.s.n.m es inversamente proporcional.

La altitud tiene una gran influencia sobre la distribución de las lluvias, temperatura, humedad relativa, etc. Y estos factores climáticos, hacen que ciertas propiedades organolépticas del café se acentúen a medida que se incrementa la altura. Por ejemplo: a mayor altura el proceso de formación y maduración de los granos de café es más lenta, lo cual tiene como resultado un desarrollo amplio de las sustancias aromáticas y de una acidez deseable en el café. La zona altitudinales de mejor optimización para el cultivo del café está entre los 1000 msnm y los 1800 msnm (MUÑOZ, s.d.).

2.5. Sistema de información geográfica (SIG)

La primera referencia al término SIG aparece por TOMLINSON (1967), referida a una aplicación informática cuyo objetivo es desarrollar un conjunto de tareas con información geográfica digitalizada. Se trataba del Sistema de Información Geográfica de Canadá (CGIS).

BERRY (1987) definió un sistema de información geográfica como “un sistema informático diseñado para el manejo, análisis y cartografía de información espacial”.

También, el DEPARTAMENT OF ENVIROMENT DE USA (1987), expresó que es “un sistema para capturar, almacenar, chequear, manipular, analizar y representar datos que están espacialmente referenciados en la Tierra”.

BURROUGH y MCDONNELL (1988) amplían el concepto a “un sistema de herramientas para reunir, introducir, almacenar, recuperar, transformar y cartografiar datos espaciales sobre el mundo real con el fin de satisfacer múltiples propósitos”. La base de datos está compuesta, generalmente, por un gran número de representaciones espaciales de tipo mapa denominadas “coberturas” o “capas”.

En 1990 el National Center for Geographic Information and Analysis (NCGIA) de USA los define como “sistema de hardware, software y procedimientos elaborados para facilitar la obtención, gestión, manipulación, análisis, modelado, representación y salida de datos espacialmente referenciados, para resolver problemas complejos de planificación y gestión”.

Tal como se observa, estas definiciones no sólo son sucesivas en el tiempo, sino que además cada una supone un mayor nivel de complejidad respecto a la anterior. La primera hace referencia únicamente a las bases de datos espaciales; la segunda y la tercera a las herramientas (software) de tratamiento de estos datos (el típico paquete de módulos de SIG); finalmente, la cuarta y quinta incluyen el hardware utilizado y los procedimientos complementarios que puedan ser necesarios.

En la actualidad, mediante los SIG se pueden realizar operaciones entre las capas, y así obtener resultados en formato imagen o en tablas. Todos estos resultados pueden utilizarse para la elaboración de análisis y modelos. Por lo tanto, no hay que considerar a los SIG como una herramienta sólo de captura, almacenamiento, manejo y presentación de mapas.

Los SIG son una nueva tecnología que permite gestionar y analizar la información espacial, y que surgió como resultado de la necesidad de disponer rápidamente de información para resolver problemas y contestar preguntas de modo inmediato.

Es realmente complejo explicar el concepto de SIG y no hay un consenso a la hora de definir un SIG; debido a que integra dentro de un mismo concepto tanto los componentes como las funciones. Así mismo, existen otras muchas definiciones de SIG, algunas de ellas acentúan su componente de base de datos, otras sus funcionalidades y otras enfatizan el hecho de ser una herramienta de apoyo en la toma de decisiones; pero todas coinciden en que se trata de un sistema integrado para trabajar con información espacial, herramienta esencial para el análisis y toma de decisiones en muchas áreas del conocimiento.

Como Sistema de Información se entiende la unión de información y herramientas informáticas (programas), para su análisis con unos objetivos concretos. Al incluir el término "Geográfica" se asume que la información es espacialmente explícita, es decir, incluye la posición en el espacio.

La base de un SIG es, por tanto, una serie de capas de información espacial en formato digital que representan diversas variables (formato raster), o bien capas que representan objetos (formato vectorial) a los que corresponden varias entradas en una base de datos enlazada. Esta estructura permite combinar en un mismo sistema, información con orígenes y formatos muy diversos, incrementando la complejidad del sistema (SOBRINO, 2000).

2.5.1. Aplicación de los SIG en el estudio de los recursos naturales

El uso de los sistemas de información geográfica está creciendo en el Perú y se han convertido en una potente herramienta de manejo de información con criterio geoespacial.

Es un infaltable eslabón en la cadena de toma de decisiones en todos los niveles. La entidad gubernamental que vela por el uso sostenible de los recursos naturales y conservación de la biodiversidad en el Perú, cuenta con una Unidad de Información de Recursos Naturales y otra de Teledetección y Sistemas de Información Geográfica, que trabajan en la producción y difusión de información sobre recursos naturales renovables del país (BARREDO, 1995).

2.5.2. Modelamiento SIG

Obtención de las unidades, en base a características de aptitud y potencial, limitaciones o fragilidad, riesgos geodinámicas. Se definen los parámetros o indicadores ambientales y áreas de mayor impacto a ser monitoreadas y se prepara el informe y mapas finales. Modelamiento: el

desarrollo de los modelos espaciales se efectúa a través de una superposición de mapas temáticos elaborados en el sistema de información geográfica, posterior al análisis de la información e identificadas las variables temáticas para los fines requeridos (BARREDO, 1995).

Mapas producto y resultados: como resultado del modelo, se desarrollan otros modelos de aplicación por superposición de mapas y manejo de base de datos con finalidades determinadas. Por ejemplo, los orientados al manejo de cultivos por valle, uso y manejo del recurso agua e infraestructura de riego, para definir sus implicancias en la producción y productividad de las tierras de cultivos de acuerdo a sus niveles de calidad establecidos sobre las condiciones y imitaciones de producción agrícola, las que fueron clasificadas en: muy alta, alta, moderada, baja y muy baja. Como resultado proporciona la caracterización de las unidades agroecológicas y su base de datos, en función de sus componentes físicos biológicos y socioeconómicos, estableciéndose el sistema de cultivo, aspectos climáticos, manejo y recuperación de suelos, factores socioeconómicos. La finalidad es proveer información sobre las recomendaciones de manejo de los recursos naturales renovables a nivel predial (BARREDO, 1995).

2.5.3. Satélite Landsat 5 – TM

El satélite Landsat 5 fue puesto en órbita el 1° de marzo de 1984 portando el sensor TM (Mapeador Temático) con captura de datos en 7 bandas diferentes. Su órbita, sincrónica con el sol, tiene una altura de 705 Km y un

período de 98.9 minutos, o sea que da 14 vueltas diarias alrededor de la Tierra. Por ser heliosincrónica pasa por una determinada longitud siempre a la misma hora, las 9:45 am (hora local) (CHANDER y MARKHAM, 2003).

El Landsat 5 pertenece al programa Landsat, financiado por el gobierno de los Estados Unidos y operado por la NASA. Pesa 2200 Kg y tiene una longitud aproximada de 4 metros. Lleva a bordo un sensor denominado Thematic Mapper (TM) que opera en siete bandas espectrales diferentes. Estas bandas fueron elegidas especialmente para el monitoreo de vegetación (CHANDER y MARKHAM, 2003).

2.5.4. Modelos de elevación digital (DEM)

Según ROA y KAMP (2008), un Modelo de Elevación Digital (MED) es una representación digital de la altitud como variable continua sobre una superficie bidimensional a través de una red regular de valores Z referenciados a un datum común. Los más comunes son los de estructura tipo raster, que consisten en una malla o matriz de celdas cuadradas con la información de elevación en cada celda o pixel (PUSINERI *et al.*, 2004).

Los MED se pueden generar a partir de mapas topográficos, fotografías aéreas, datos de radar (SRTM), sistemas láser (LIDAR), o de imágenes satelitales estereoscópicas. Estas últimas se representan por sistemas electro-ópticos procedentes del SPOT o del ASTER, los cuales usan imágenes satelitales en lugar de fotografías aéreas, cubriendo áreas mucho más extensas en una simple toma y generando, de esta forma, un MED más

consistente dado que sus datos se generan bajo un mismo momento e igual calibración del sensor, esto implica la obtención de información rápida, de bajo costo, mayor accesibilidad y de resolución variable (ROA y KAMP, 2008).

La utilización de pares estereoscópicos para la generación de un DEM se basa en la disparidad binocular o paralaje, definido como la “diferencia” de la imagen de un objeto proyectado en cada retina. El grado de disparidad entre las imágenes proyectadas de un objeto depende del ángulo de convergencia. La convergencia es la Habilidad de enfocar el eje óptico de los dos ojos en un solo objeto. La sensación de cantidad de tensión muscular en los ojos, resultante de diferentes ángulos de convergencia, facilita una estimación indirecta de la distancia a un punto de vista. El principio de la disparidad binocular es aplicado en fotogrametría aérea y satelital para calcular la elevación del terreno a partir de la medida del paralaje entre dos imágenes (Toutin, 2001; citado por OÑATE y BOSQUE, 2007).

2.5.4.1. DEM SRTM (NASA)

La SRTM (Shuttle Radar Topography Mision), consistió de un sistema radar especialmente modificado que voló sobre el Trasbordador Espacial Endeavour (Misión STS-99) durante once días del 11 al 22 de febrero del 2000, entre 56 S y 60 N, para generar una base completa de cartas topográficas digitales terrestre de alta resolución. SRTM es un proyecto internacional dentro de la esfera de la Agencia Nacional de Inteligencia

Geoespacial (NGA) de los Estados Unidos y la Administración Nacional de Aeronáutica y Espacio (NASA) del mismo país (ROA y KRAMP, 2008).

- Fecha de lanzamiento : 11 de febrero de 2000.
- Tipo de sensor : radar.
- Resolución espacial : 3 segundos de arco ó 90 m.
- Resolución radiométrica : 16 bits.
- Datum : WGS84.
- Altitud : 235 km.
- Inclinação : 57°.
- Velocidad : 7.5 km/s.
- Tiempo de revista : 11días.

La nave empleó dos antenas de radar con las que realizó una medición cada 30 metros. La primera de las antenas estaba alojada en la bodega de la nave; la segunda, en un mástil desplegado de 60 metros. El hecho de emplear dos ingenios separados que fotografían de manera simultánea el planeta ha permitido obtener información sobre la altura de los accidentes geográficos que se captaban.

La técnica (llamada interferometría) es similar a la que empleamos los humanos para ver en tres dimensiones: la superposición de dos imágenes captadas desde puntos de vista levemente distintos. Los mapas resultantes, se

forman a partir de tres puntos: dos en superficie (latitud y longitud) y uno en altura (FELICÍSIMO, 1997).

2.5.4.2. Usos y aplicaciones de los DEM

Los parámetros más importantes para el modelado de procesos hidrológicos y de erosión del suelo como la pendiente y la exposición pueden ser calculados a partir de un MED (VAN WESTEN, 1994), los que a su vez son importantes parámetros para el modelado de amenazas naturales tales como deslizamientos y riesgo por erosión hídrica a nivel de cuencas (FELICÍSIMO, 1997).

En lo referente a parámetros de la cuenca, un DEM nos sirve para extraer información automática, como por ejemplo:

- **Cálculo de propiedades de la cuenca.**- nos sirve para hacer el cálculo de pendientes, en función de los puntos máximos y mínimos de altitud registrados en la cuenca; así mismo, posteriormente poder efectuar el cálculo de áreas y longitudes.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Características generales del área de estudio

3.1.1. Ubicación

3.1.1.1. Ubicación Política

El presente trabajo de investigación se realizó en la microcuenca Potrerillo, ubicada en el distrito Jepelacio, provincia Moyobamba, departamento San Martín, ubicada a 60 minutos de la ciudad a través de la carretera Moyobamba – 7 de junio. La microcuenca en estudio, presenta una extensión aproximada de 1,173.77 ha y una altitud que va desde los 1,000 hasta los 1,650 m.s.n.m. Su ubicación le confiere una fisiografía principalmente montañosa, con una vegetación natural de bosques.

3.1.1.2. Ubicación geográfica de la microcuenca

La microcuenca Potrerillo se encuentra ubicada entre:

Latitud sur : 6.14°– 6.18° y Longitud oeste : 76.91 ° - 76.96°

Altitud Media: 1,325 m.s.n.m

Ver Mapa de ubicación en Anexo

3.1.2. Humedad

La estación Meteorológica de Potrerillo, registra para la microcuenca en estudio una humedad relativa media anual de 80%.

3.1.3. Temperatura

Así mismo registra una temperatura máxima de 30 °C, temperatura mínima de 17.1 °C y una temperatura promedio de 22.6 °C.

3.1.4. Geología

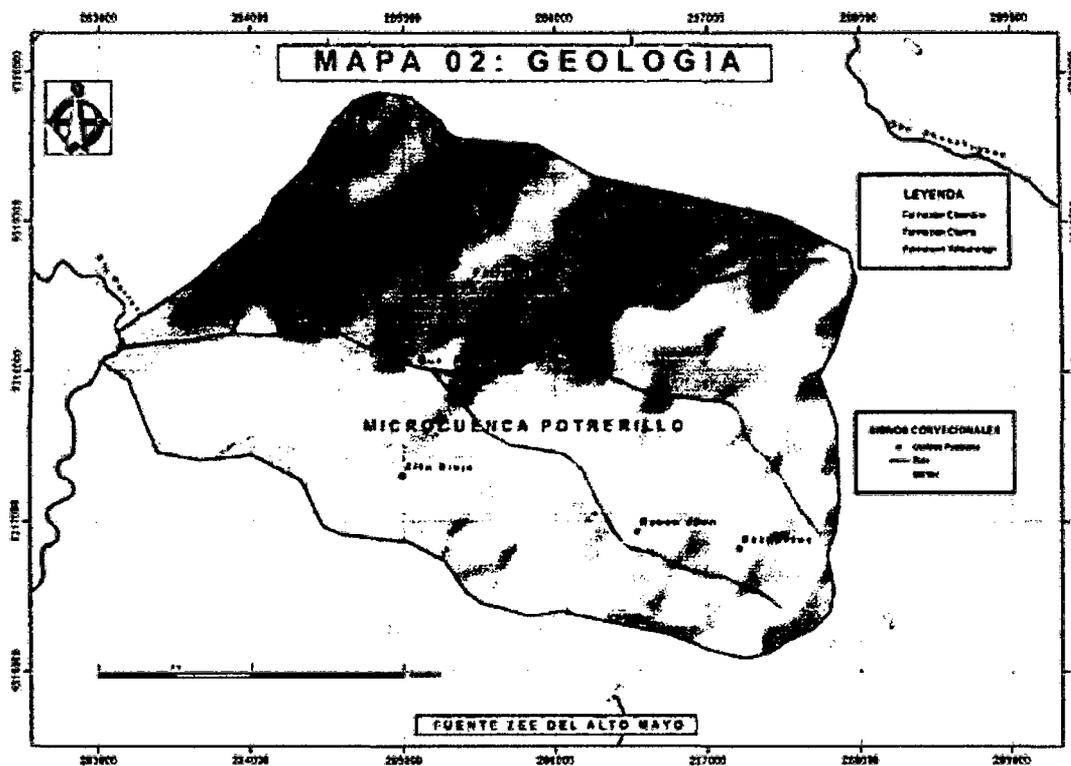
El área en estudio geológicamente está constituida por tres grupos bien definidos.

Formación Chonta: en la zona de estudio, la Formación Chonta tiene una extensión de 537.31 Ha, cual representa un 45.77%, y está compuesta principalmente por lutitas y calizas.

Formación Yahuaringo: constituye un conjunto litológico denominado capas rojas continentales, que da inicio a la depositación continental donde describe en la parte superior limo arcillitas rojas (lodolitas rojizas), limolíticas; y en la base, conglomerados redondeados a sub angulosos con estratificación sesgada.

Formación Chambira: representa un 40.26% del total, corresponden a secuencias litológicas denominadas capas rojas continentales

superiores. Kummel, B. (1948), describiéndola litológicamente como arcillitas, lutitas y limolitas rojas, los cuales se intercalan con areniscas marrones, delgadas capas de anhidrita, y horizontes tufáceos esporádicos.



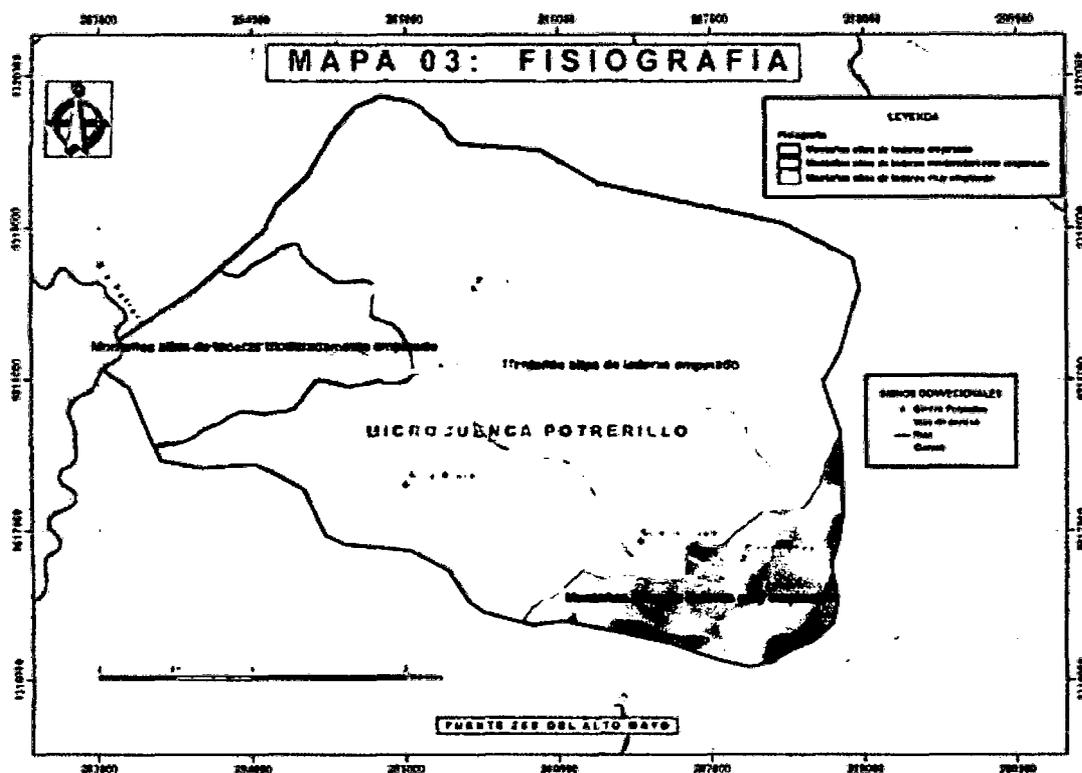
Fuente: Elaboración propia.

Figura 1. Mapa geológico de la microcuenca Potrerillo.

3.1.5. Fisiografía.

La fisiografía de la microcuenca Potrerillo es muy definida, encontrándose zonas montañosas altas, de laderas moderadamente empinadas hasta laderas muy empinadas, de los cuales se logra distinguir tres grupos:

Montañas altas con laderas moderadamente empinadas. Estas formas de tierras cubren una superficie aproximada 150.03 ha., equivalente a 12.78% del área total evaluada. Se ubican indistintamente a lo largo de la cordillera subandina, presentan relieve con pendientes que varían de 2.23 a 25%, los suelos son superficiales a moderadamente profundos. Parte de estas áreas son utilizadas con actividades agropecuarias.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2. Mapa fisiográfico de la microcuenca Potrerillo.

Montañas altas con laderas empinadas. Estas formas de tierras cubren una superficie aproximada 900.63 ha., equivalente a 76.73% del área total evaluada. Se ubican indistintamente a lo largo de la cordillera oriental,

presentan relieve disectado con pendientes que varían de 25 a 50%, los suelos son muy superficiales debido al contacto litológico.

Montañas altas con laderas muy empinadas. Cubren una superficie aproximada de 123.11 Ha., equivalente a 10.49% del área evaluada, presentan relieve fuertemente disectado con pendientes que varían de 50 a 75%; los suelos son superficiales a muy superficiales.

3.1.6. Hidrografía

La microcuenca presenta como afluentes, quebradas que forman el cauce principal que lleva por nombre "Potrerillo", es la fuente principal para el consumo humano y también para los cultivos que se manejan en la microcuenca; su cauce principal posee una extensión aproximada de 4.5 Km y desemboca en el río Potrero.

3.2. Materiales

3.2.1. Material cartográfico

- Carta Nacional a escala 1:100,000, elaborado por el Instituto Geográfico Nacional (IGN).

3.2.2. Material satelital

- Imagen de satélite LANDSAT.

- Modelo de elevación digital (DEM) SRTM de 90 m de resolución, disponible desde el 2005.

3.2.3. Hardware y software

- 01 Laptop Dual Core 2.
- Programa ArcGis versión 9.3.
- Otros: Windows 7, Office 2007 (Word, Excel), etc.

3.2.4. Equipo y material de campo

- Internet.
- GPS (Sistema de Posicionamiento Global) marca Garmin.
- Cámara digital marca Canon.
- Datos digitales de las precipitaciones mensuales (mm) proporcionadas por la estación CO Jepelacio y la estación de Potrerillo.
- Datos de precipitación semanal (mm) de los pluviómetros instalados.
- Resultados de análisis de suelo.
- Libreta de campo.
- Útiles de escritorio en general.

3.3. Componentes de estudio

Cuadro 4. Parámetros de evaluación.

Parámetro	Símbolo	Características
Precipitación	Pp.	Registrado en el pluviómetro expresado en mm/mes
Temperatura	T.	Registrado en las estaciones meteorológicas expresado en °C
Textura	Tx.	Calculado por el Método del Hidrómetro de Bouyoucos
pH	pH	Calculado por el Método del Potenciómetro
Materia Orgánica	M.O	Calculado por el Método de Wackley y Black
Caracterización Edafo – Climática y altitudinal	CECA	Calculado mediante la interpolación de los 6 parámetros

Fuente: Elaboración propia.

3.4. Metodología

La investigación se realizó en tres fases, que se mencionan a continuación:

La primera fase se concentró en el trabajo de pre campo, comenzando por la coordinación con las autoridades de la zona de estudio, luego, se recopiló la información cartográfica física y digital disponible (ZEE del Alto Mayo) producto no elaborado, posteriormente se adquirieron los datos meteorológicos, la imagen de satélite y el DEM de la zona de estudio.

La segunda fase concierne el trabajo de campo, se enfocó en el trabajo in situ, información indispensable para la contrastación de los datos recopilados en la fase anterior, además, se establecieron rangos de las variables ambientales a evaluar para la identificación de zonas altamente productivas para el cultivo de café, de igual modo se realizaron muestreos de suelos de cada unidad homogénea de la microcuenca teniendo como base la fisiografía y pendiente del terreno, así como también se realizó el uso actual de sus tierras, para así conocer el área exacta del cultivo de café y se aplicaron las encuestas a cada productor de las zonas productivas.

La tercera fase consistió en la interacción de las variables a través de un modelamiento SIG, con el cual se identificaron las zonas productivas café de la Microcuenca Jepelacio para el cultivo de café, y su validación con la realidad.

3.4.1. Primera fase

3.4.1.1. Reconocimiento del área de estudio

La investigación se realizó en la microcuenca Potrerillo, la cual posee aproximadamente 1173.77 ha, se encuentra ubicada dentro de la jurisdicción del distrito Jepelacio, provincia Moyobamba y región San Martín.

Dentro de la cuenca se encuentra instalada actualmente la estación meteorológica denominada “Potrerillo” y “Bomboneras”, mismo nombre del Centro Poblado, la cual es administrada por el Proyecto Especial Alto Mayo (PEAM), nos brinda los reportes climáticos (precipitación y temperatura) de los años 2006, 2007, 2008, 2009 y 2010 de evaluación, los mismos que se utilizaron en la elaboración de los mapas de isoyetas e isotermas.

3.4.1.2. Recopilación y generación de información

Fue necesario el disponer de toda la información disponible del área de estudio, ya sea de forma física o digital:

Adquisición de las cartas nacionales, se adquirió la hoja 13j de la carta nacional, que cubre toda la zona de estudio elaborada por el Instituto Geográfico Nacional (IGN), la cual fue proporcionada por ZEE del Alto Mayo.

Adquisición de la Imagen de satélite LANDSAT, se descargó la imagen del satélite LANDSAT con una resolución de 30 m y se obtuvo de *United States Geological Survey* (USGS) y fue tomada el 30 de Enero del año

2007.

Adquisición del Modelo de elevación digital (DEM), se descargó el DEM STRM versión 2 (ortorrectificada), de 90 m de resolución espacial, disponible en <https://wist.echo.nasa.gov/>, desde el año 2005, ya que era necesario para el análisis de la pendiente, altitud, y las unidades fisiográficas del área.

3.4.1.3. Corrección geométrica

Se cambió la posición de los pixeles para que tenga coordenadas reales. Las correcciones del DEM y la imagen de satélite se hicieron mediante imágenes corregidas u ortorrectificadas, para el caso del DEM SRTM de 90 m de resolución y para el caso de la imagen de satélite LANDSAT, que fueron corregidas geométricamente, con un sistema de referencia que corresponde a una proyección cartográfica UTM, zona 18 Sur, con Datum WGS84.

3.4.1.4. Adquisición de datos meteorológicos

Se solicitó la información en la Estación Meteorológica CO Japelacio, Potrerillo, Bomboneras, 7 de Junio y San Roque, estos últimos administrados por el PEAM, ubicado en Moyobamba de los años 2006, 2007, 2008, 2009 y 2010, para así conocer los datos de precipitación y temperatura.

Cuadro 5. Ubicación de las estaciones instaladas en el área de estudio.

Estación meteorológica	Coordenadas UTM		Precipitación promedio (mm/año)
	Este	Norte	
Jepelacio (SENHAMI)	285275	9319254	1504.8
Potreriillo (PEAM)	287208	9316869	1784.8
Bomboneros (PEAM)	288879	9323978	1421.3
7 de Junio (PEAM)	281377	9319137	1414.1
San Roque (PEAM)	282506	9313386	1620.4

Cuadro 6. Ubicación de las estaciones instaladas en el área de estudio.

Estación meteorológica	Coordenadas UTM		Temperatura media (mm/año)
	Este	Norte	
Jepelacio (SENHAMI)	285275	9319254	22.8
Potreriillo (PEAM)	287208	9316869	20.3
Bomboneros (PEAM)	288879	9323978	23.5
7 de Junio (PEAM)	281377	9319137	22.8
San Roque (PEAM)	282506	9313386	22.7

Fuente: Elaboración propia.

3.4.1.5. Provisión de equipos y materiales

El material logístico utilizado en las labores de campo y gabinete, son de utilidad propia a excepción del GPS que es patrimonio de la Cooperativa Agraria Cafetalera "Fe y Esperanza".

3.4.2. Segunda fase

3.4.2.1. Determinación de parámetros ambientales (clima)

a. Precipitación

Isoyetas. Se realizó el mapa de isoyetas con los datos obtenidos de los pluviómetros estacionarios (estaciones meteorológicas) ubicados en diferentes puntos de la micro cuenca, creando así un shape file de puntos (formato vector), con los cuales mediante la interpolación se creó un raster de precipitación promedio (mm) de la microcuenca en estudio, a través de la herramienta Kriging del Arcgis 9.3 (APARICIO, 1999).

Evaluación de la precipitación. La evaluación de los eventos de lluvia se basó en los parámetros propuestos por PROAMAZONIA (2003) para todas las zonas cafetaleras del país, y cuyo rango se menciona a continuación:

Cuadro 7. Criterio de evaluación de la precipitación.

Rango (mm)	Valor
< 1600	1
> 1800	2
1600 – 1800	3

Fuente: PROAMAZONIA, 2003.

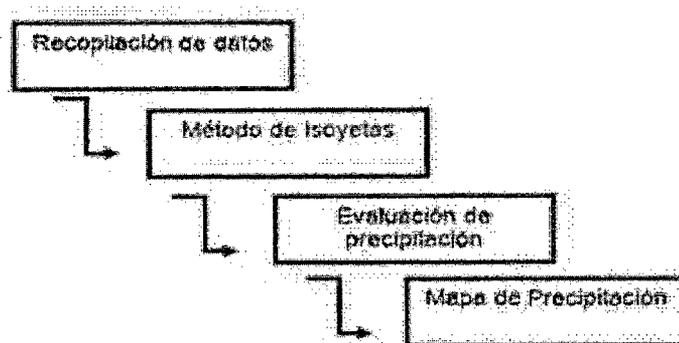


Figura 3. Proceso de determinación de la precipitación.

b. Temperatura (T)

Isotermas. El mapa de isotermas se obtuvo conociendo los datos de temperatura media anual de los años evaluados (2005 al 2010) que se adquirió de las estaciones meteorológicas estudiadas, para determinar la variación espacial de la temperatura se consideró el trazo de isotermas a través de interpolación utilizando el método Kriging del Arcgis 9.3 (APARICIO, 1999).

Evaluación de la temperatura. Está basada en los parámetros establecidos por PROAMAZONIA (2003) para las zonas cafetaleras del Perú, como se muestra a continuación.

Cuadro 8. Criterio de evaluación de la temperatura.

Rango (°C)	Valor
< 18	2
>22	1
18 – 22	3

Fuente: PROAMAZONIA, 2003.

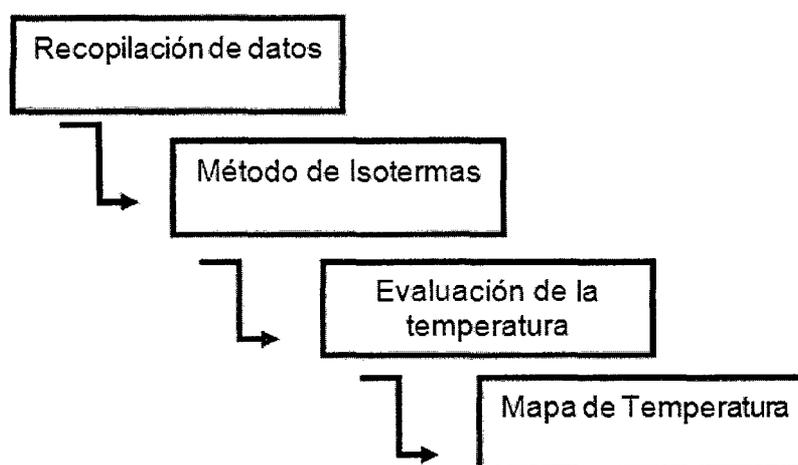


Figura 4. Flujograma del proceso de determinación de la temperatura media promedio de la microcuenca Potrerillo.

3.4.2.2. Determinación de los parámetros ambientales (físicos – químicos)

a. Muestreo de suelo

Las muestras que fueron evaluadas se ubican dentro de un área de 1173.77 ha, donde se determinaron 12 sub áreas homogéneas tomando como base a las unidades fisiográficas y la pendiente del terreno de la microcuenca,

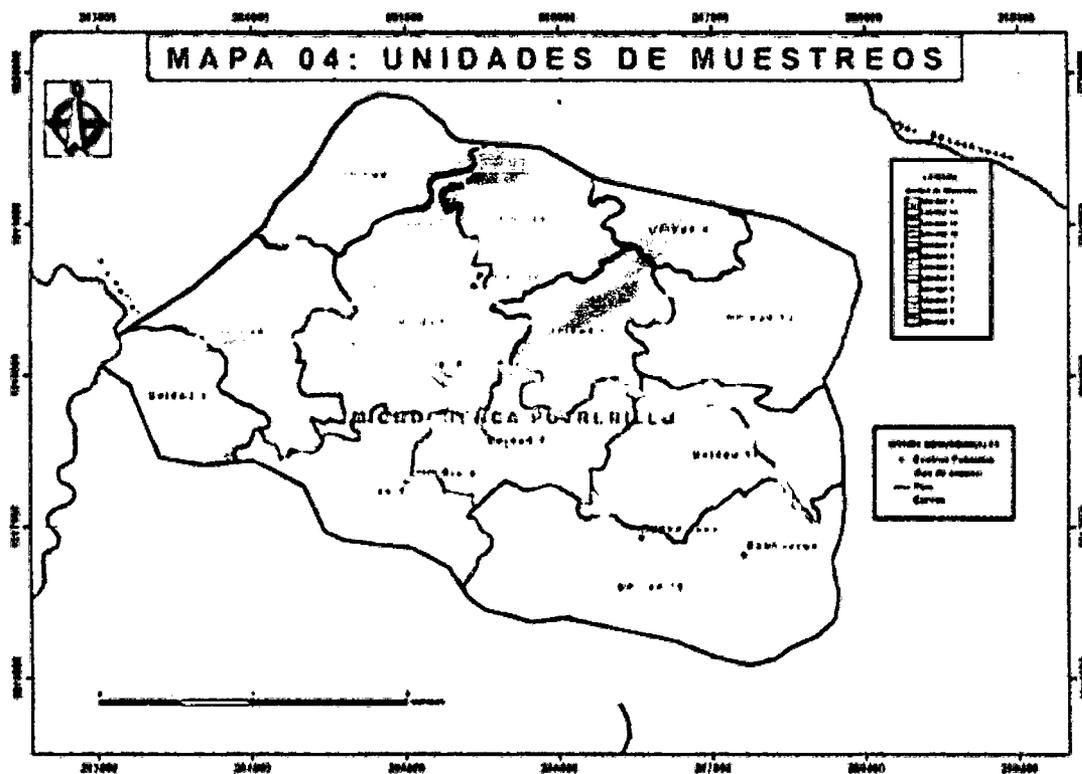
cada unidad de muestreo se realizó en zig – zag, teniendo así una “muestra compuesta”, es decir una muestra de suelo se compone de varias submuestras tomadas aleatoriamente en el campo, ya que de cada unidad de muestreo se tomaron de 15 a 20 submuestras, cuya profundidad fue de 20cm para la gran mayoría de cultivos agrícolas, ello nos permitió realizar, el análisis de suelos, donde se obtuvieron las propiedades físicas y químicas (textura, pH y materia orgánica), dichas muestras fueron analizadas en el laboratorio de análisis de suelo del Instituto de Cultivo Tropicales (ICT).

Cuadro 9. Unidades de muestreo (áreas homogéneas).

Unidad de muestreo	Altitud (msnm)	Área (ha)	Porcentaje (%)
Unidad 1	1000 - 1250	57.34	4.89
Unidad 2	1030 - 1250	93.94	8
Unidad 3	1150 - 1300	79.16	6.74
Unidad 4	1250 - 1425	84.14	7.17
Unidad 5	1100 - 1250	148.65	12.67
Unidad 6	1250 - 1300	79.35	6.76
Unidad 7	1200 - 1400	76.12	6.49
Unidad 8	1200 - 1300	71.25	6.07
Unidad 9	1300 - 1375	39.67	3.38
Unidad 10	1350 - 1650	205.46	17.5

Unidad 11	1275 - 1525	119.19	10.15
Unidad 12	1300 - 1500	119.46	10.18
Total		1173.77	100

FUENTE: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia

Figura 5. Mapa de unidades de muestreo de la microcuenca Potrerillo.

Cuadro 10. Número de sub muestras.

Unidad de muestreo	Numero de sub muestras	Área (ha)
Unidad 1	15	57.34
Unidad 2	15	93.94

Unidad 3	15	79.16
Unidad 4	15	84.14
Unidad 5	18	148.65
Unidad 6	15	79.35
Unidad 7	15	76.12
Unidad 8	15	71.25
Unidad 9	15	39.67
Unidad 10	20	205.46
Unidad 11	18	119.19
Unidad 12	18	119.46
Total		1173.77

Fuente: Elaboración propia.

Materia Orgánica (M.O.)

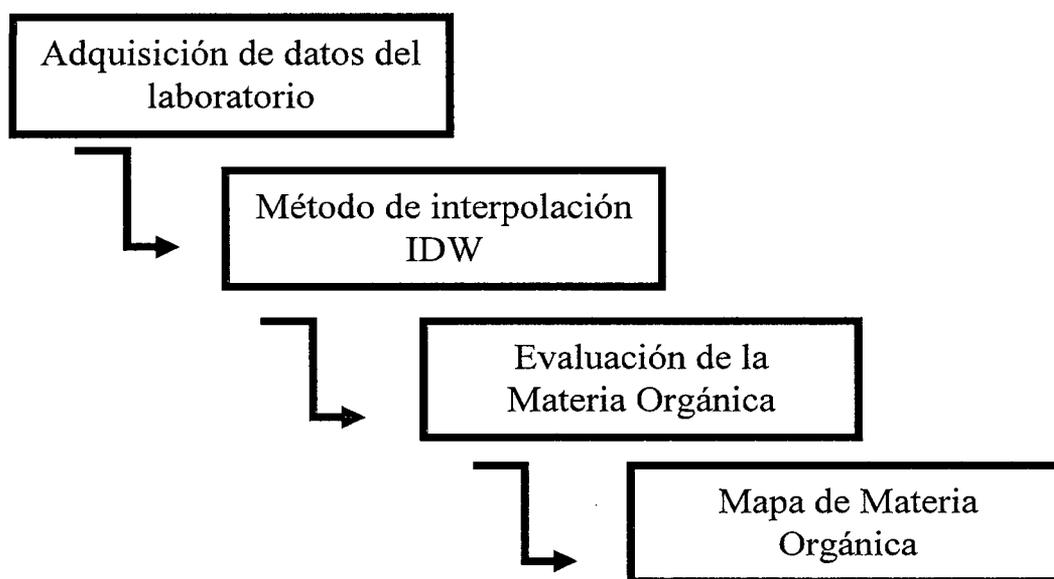
Con los resultados obtenidos, del Laboratorio de análisis de suelos del Instituto de Cultivos Tropicales (ICT), y, tomando como áreas las unidades homogéneas de muestreo, se elaboró el mapa de Materia orgánica con el Arcgis 9.3, con la herramienta IDW (Inverse distance weighted), usando el método de la interpolación.

Evaluación de materia orgánica. Para la evaluación de la materia orgánica se consideraron los parámetros de suelos establecidos por Proamazonia (2003) para las zonas cafetaleras del Perú como se muestra el siguiente cuadro:

Cuadro 11. Criterio de evaluación de materia orgánica.

Rango (%)	Valor
0 – 1	1
1 – 2	2
> 2	3

Fuente: Proamazonia (2003).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 6. Flujograma del proceso de determinación del porcentaje de materia orgánica de la cuenca estudiada.

Reacción del suelo (pH)

Con los datos obtenidos del Laboratorio de análisis de suelos del ICT y tomando como áreas las unidades homogéneas de muestreo, se elaboró

el mapa de pH, a través del método de interpolación con la herramienta IDW (Inverse distance weighted) del Arcgis 9.3 en formato raster.

Evaluación de la reacción del suelo (pH). La evaluación está basada en los parámetros establecidos por Proamazonia (2003), para las zonas cafetaleras del Perú, según la descripción siguiente:

Cuadro 12. Criterio de evaluación de la reacción del suelo (pH).

Rango	Valor
< 4.5	1
4.5 - 5.5	2
5.5 – 6.5	3

Fuente: Proamazonia (2003).

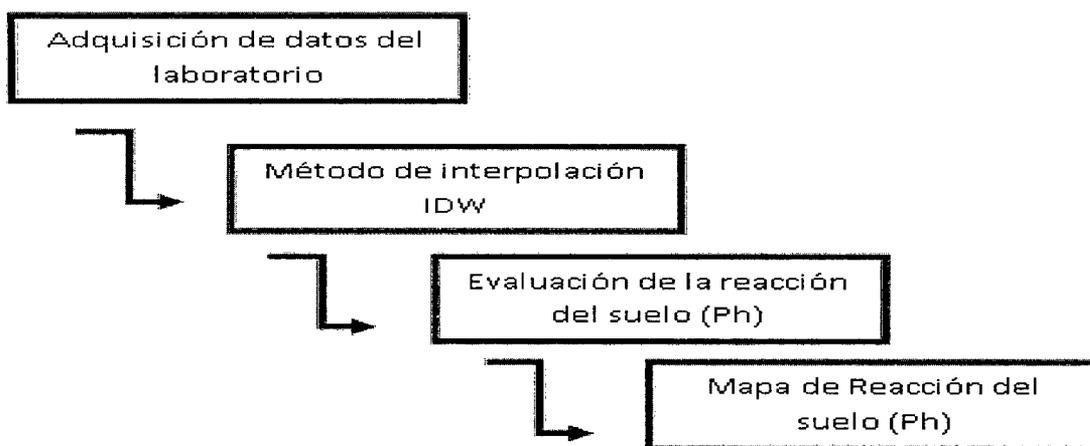


Figura 7. Proceso de determinación del pH de la cuenca estudiada.

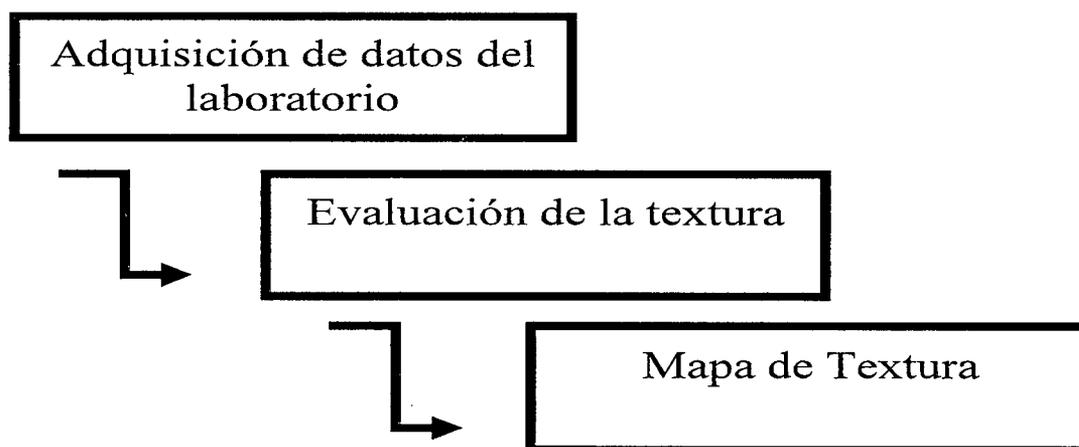
Textura (Tx.)

Con los resultados obtenidos del Laboratorio de análisis de suelos del Instituto de Cultivos Tropicales y tomando como áreas, las unidades homogéneas de muestreo, se elaboró el mapa de textura.

Evaluación de la textura (Tx.). Los rangos establecidos según los parámetros de Proamazonia (2003) en zonas cafetaleras del Perú se muestran

Cuadro 13. Criterio de evaluación de la textura.

Rango	Valor
Ligero	1
Pesado	2
Medio	3



Fuente: Elaboración propia.

Figura 8. Flujograma del proceso de determinación de la textura de la cuenca estudiada.

3.4.2.3. Determinación de los parámetros altitudinales

Estratificación. El mapa se realizó mediante un Modelo Elevación Digital (DEM, por sus siglas en inglés) corregido, en base a esto se procedió a realizar el mapa de altitudes o estratificación utilizando la herramienta (Calculadora Raster) de la extensión Análisis espacial del Arcgis 9.3.

Evaluación de la altitud. Esta evaluación está basada en los parámetros establecidos por Proamazonia (2003) de las zonas cafetaleras del Perú, como se observa en el siguiente cuadro:

Cuadro 14. Criterio de evaluación de las alturas.

Rango (msnm)	Valor
< 900	1
900 – 1200	2
> 1200	3

Fuente: PROAMAZONIA (2003).

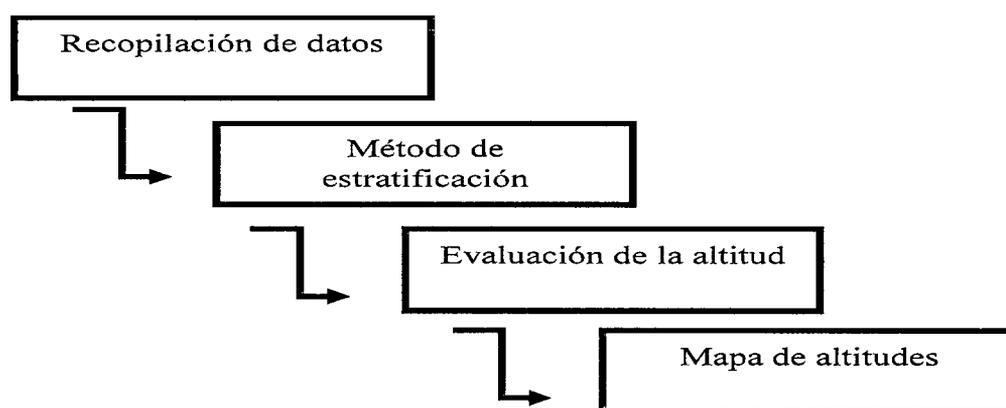
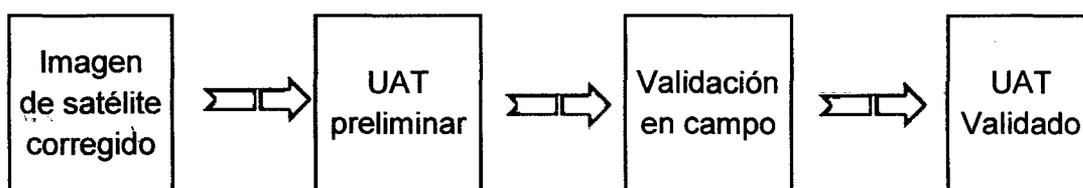


Figura 9. Flujograma del proceso de determinación de las altitudes de la cuenca estudiada.

3.4.2.4. Uso actual de tierras

Una vez descargada, la imagen de satélite corregida se procedió, a realizar un UAT preliminar delimitando áreas homogéneas en base a la tonalidad de los colores de la imagen en el programa Arcgis 9.3.

La validación en campo consistió en recorrer toda el área de la microcuenca con ayuda de un GPS y de un mapa de UAT preliminar para así definir bien los límites y los tipos de cobertura que hay en la zona de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

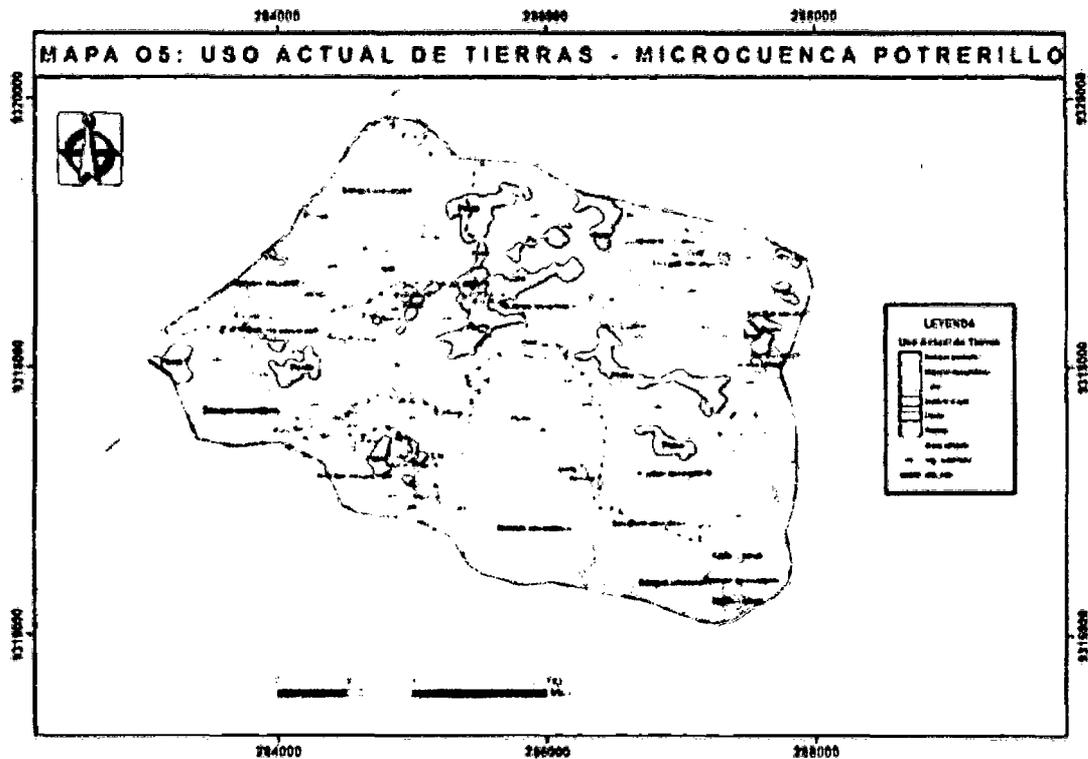
Figura 1. Proceso de determinación del uso actual de tierras (UAT).

Cuadro 15. Tipos de cobertura en la microcuenca Potrerillo.

Cobertura	Área (ha)	Porcentaje (%)
Café	474.56	40.43
Pasto	119.71	10.2
Purma	157.94	13.46
Bosque Secundario	342.1	29.15
Bosque Primario	60.22	5.13
Cultivo anual	11.4	0.97
Zona Urbana	7.84	0.67
Total	1173.77	100

Fuente: Elaboración propia.

Una vez validada esta información en campo, se realizó en el gabinete, el mapa de uso actual de tierras para así conocer los diferentes tipos de coberturas que existen en el área de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2. Uso actual de tierras de la microcuenca Potrerillo.

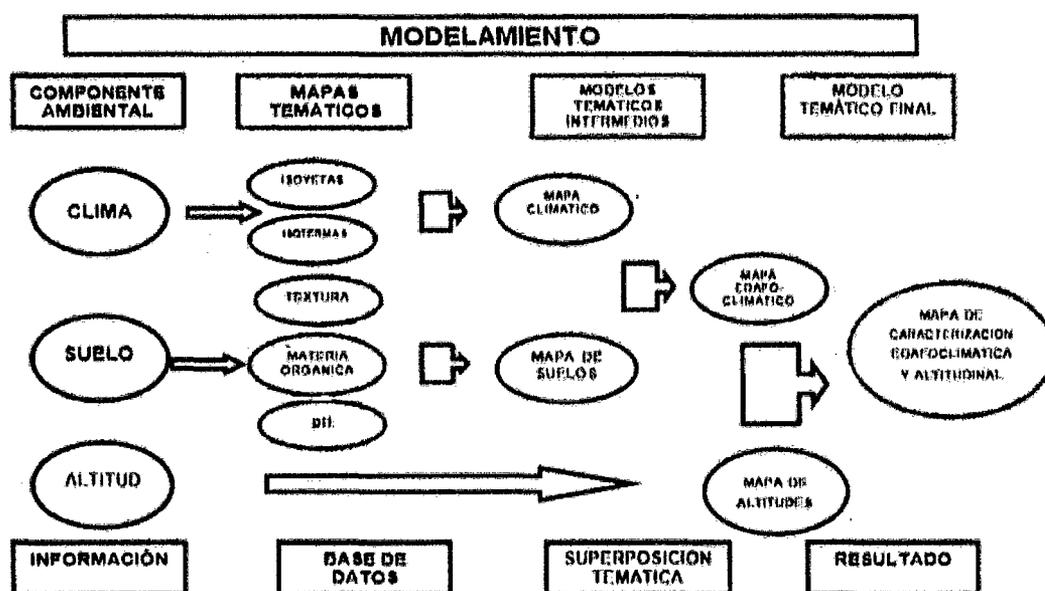
3.4.3. Tercera Fase

3.4.3.1. Análisis y procesamiento de datos

En la identificación de zonas altamente productivas para el cultivo de café fue necesario el análisis con los datos obtenidos en campo; los mismos que tuvieron que ser analizados individualmente y cuyo procesamiento se muestra en forma detallada, que fue elaborado en la tabla de atributos del Arcgis 9.3 para así generar una base de datos SIG.

3.4.3.2. Modelamiento

La interacción de los variables suelo (materia orgánica, pH y textura), clima (precipitación y temperatura y altitud permitirá identificar las zonas productivas para el cultivo de café a través de la herramienta intersección del Arc Tool Box del Arcgis 9.3.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3. Modelamiento SIG.

3.4.3.3. Interpretación y validación de los resultados

Interpretación. Para conocer la caracterización de las zonas productivas del área de estudio. Se han determinado tres rangos que tienen como base el promedio del máximo valores de calificación para así determinar el potencial productivo de las áreas de la microcuenca a través del método matemático análisis combinatorio con el principio de multiplicación, como se contaba con 6 variables, donde cada una de ellas tiene 3 valores, el número de

combinaciones será $3 \times 3 \times 3 \times 3 \times 3 \times 3 = 729$ ya que todas las variables son independientes, lo cual se muestra a continuación;

Cuadro 16. Promedio de las variables por el método combinatorio a través del principio de multiplicación.

Condiciones Ambientales	Valores		
Precipitación	1	2	3
Temperatura	1	2	3
Textura	1	2	3
Ph	1	2	3
Materia Orgánica	1	2	3
Altitud	1	2	3
Total	1	64	729
Promedio	0.16	10.6	121.5
Código	A	B	C

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 17. Criterio de evaluación de las zonas cafetaleras.

Condición	Rango	Código
Débilmente Productivo	0 – 10.6	A
Medianamente Productivo	10.7 – 121.5	B
Altamente Productivo	> 121.5	C

Fuente: Elaboración propia.

3.4.3.4. Validación en campo (encuesta)

Una vez que se determinaron las zonas productivas, se procedió a realizar la validación en campo a través de una encuesta a los productores cafetaleros de la cuenca para conocer la producción de sus fincas los últimos 2 años (2010 y 2011).

La encuesta se muestra en Anexo en la cual se ha requerido información de los productores ubicados en la microcuenca en estudio, se ha recabado información referida a producción de café obtenida en los años 2010 y 2011-

IV. RESULTADOS

4.1. Factor climático

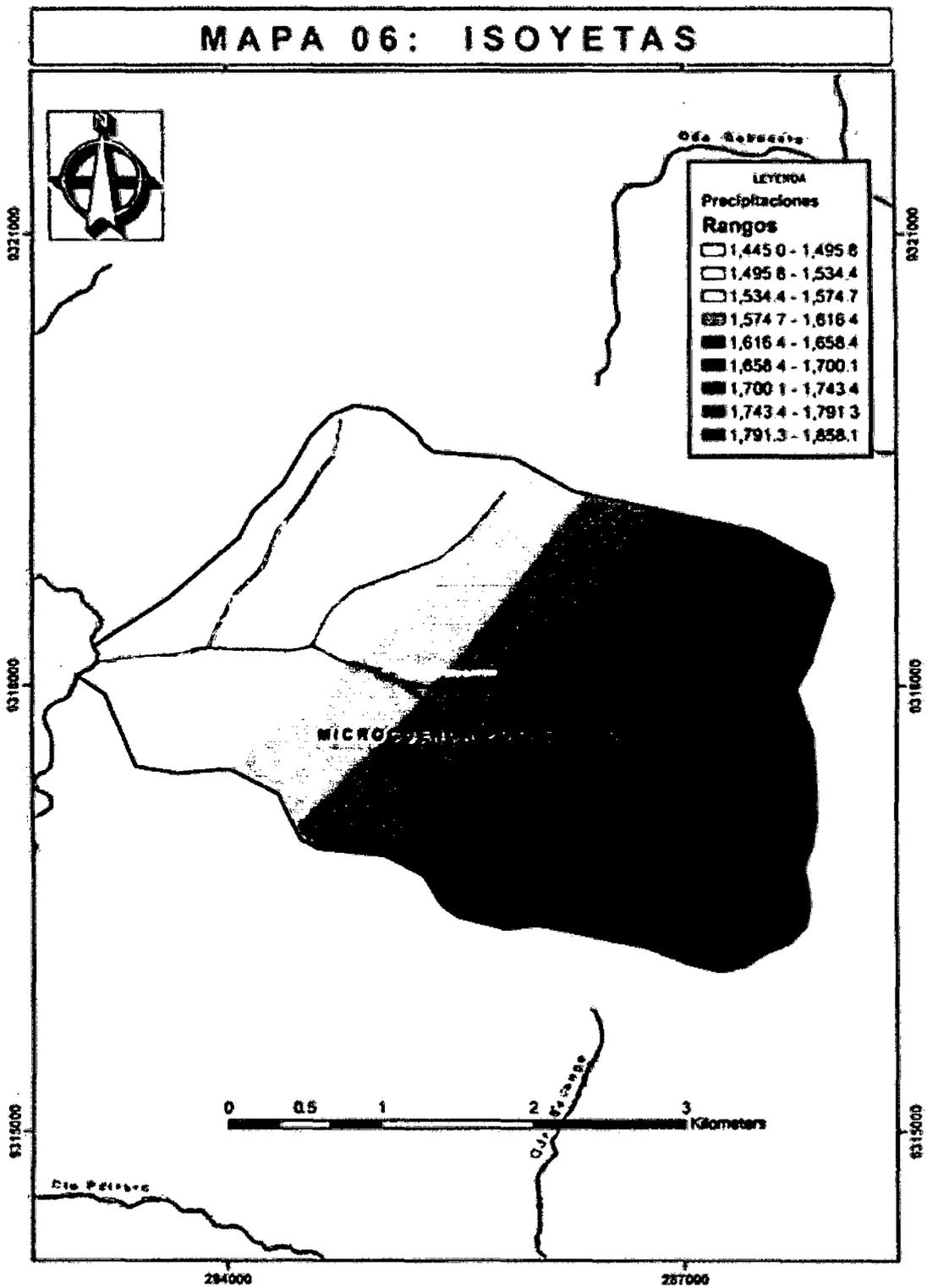
4.1.1. Precipitación (mm)

Con los registros de precipitación acumulada anual del 2006 al 2010 de las estaciones consideradas para la investigación (Anexo 3), se determinó la distribución espacial de las lluvias en la microcuenca mediante los rangos establecidos en la metodología propuesta por Proamazonia (2003).

Cuadro 18. Distribución de la precipitación en la microcuenca Potrerillo.

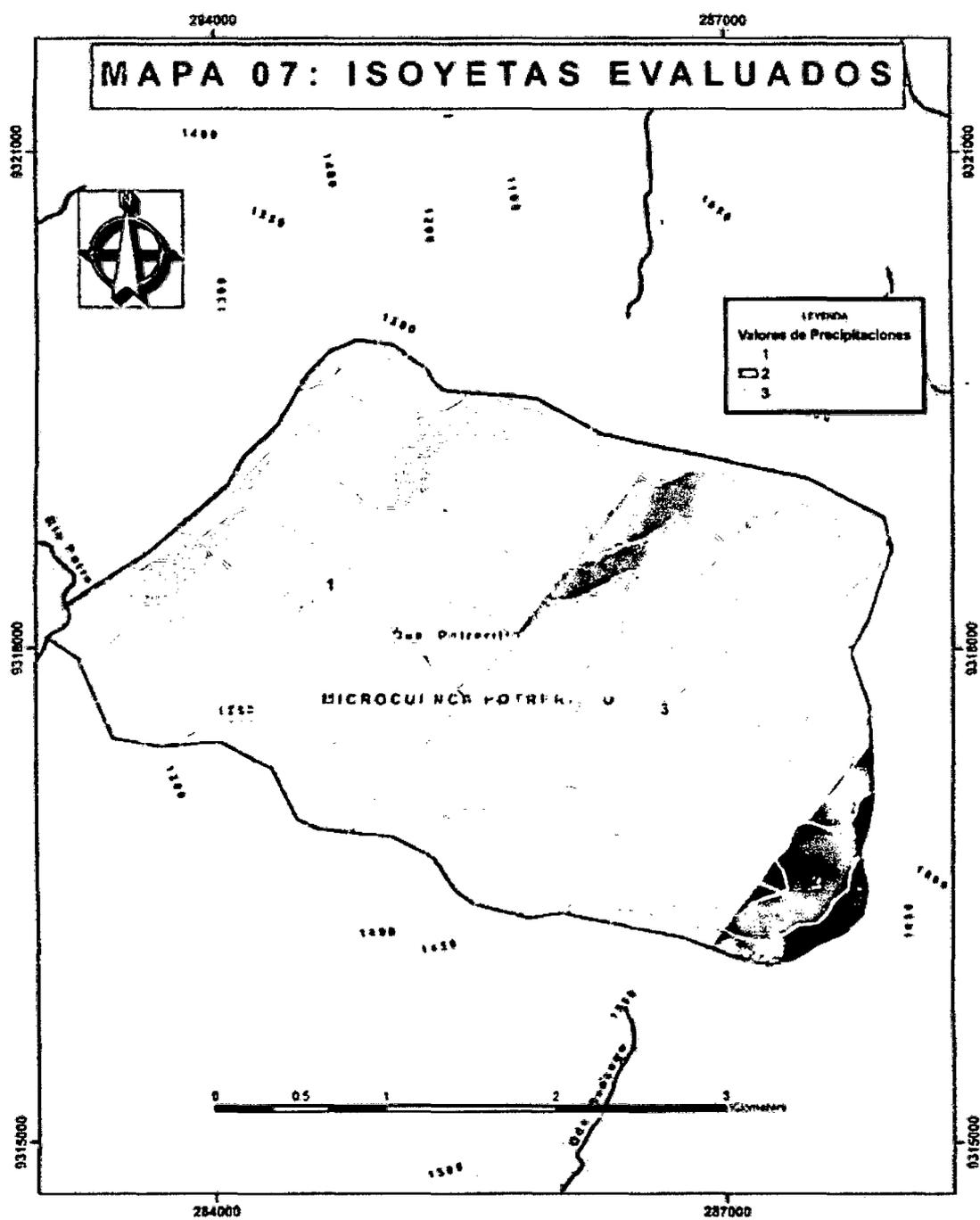
Unidad	Altitud (msnm)	Precipitación (mm)	Rango	Valor	Área (ha)	Porcentaje (%)
Unidad 1	1000 - 1350	1445 - 1600	< 1600	1	545.36	46.46
Unidad 2	1350 - 1550	1600 - 1800	1600 – 1800	3	570.2	48.58
Unidad 3	1550 - 1650	1800 – 1858	> 1800	2	58.21	4.96
Total					1173.77	100

Fuente: Elaboración propio.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4. Mapa de isoyetas de la microcuenca Potrerillo.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5. Mapa de isoyetas evaluados de la microcuenca Potrerillo.

Cuadro 19. ANVA de la relación entre la precipitación (mm) y la altitud (msnm).

FV	GL	SC	CM	F	Significancia
Regresión	1	127402.941	127402.941	599.313	<0.01**
Residuos	10	2125.81743	212.581743		
Total	11	129528.758			

** Alta significancia estadística.

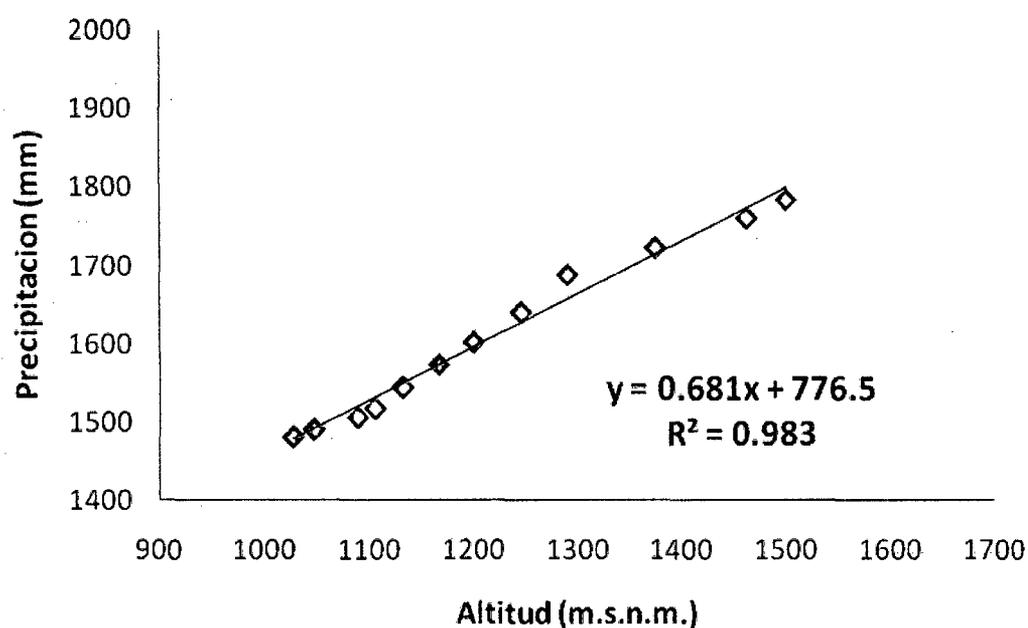
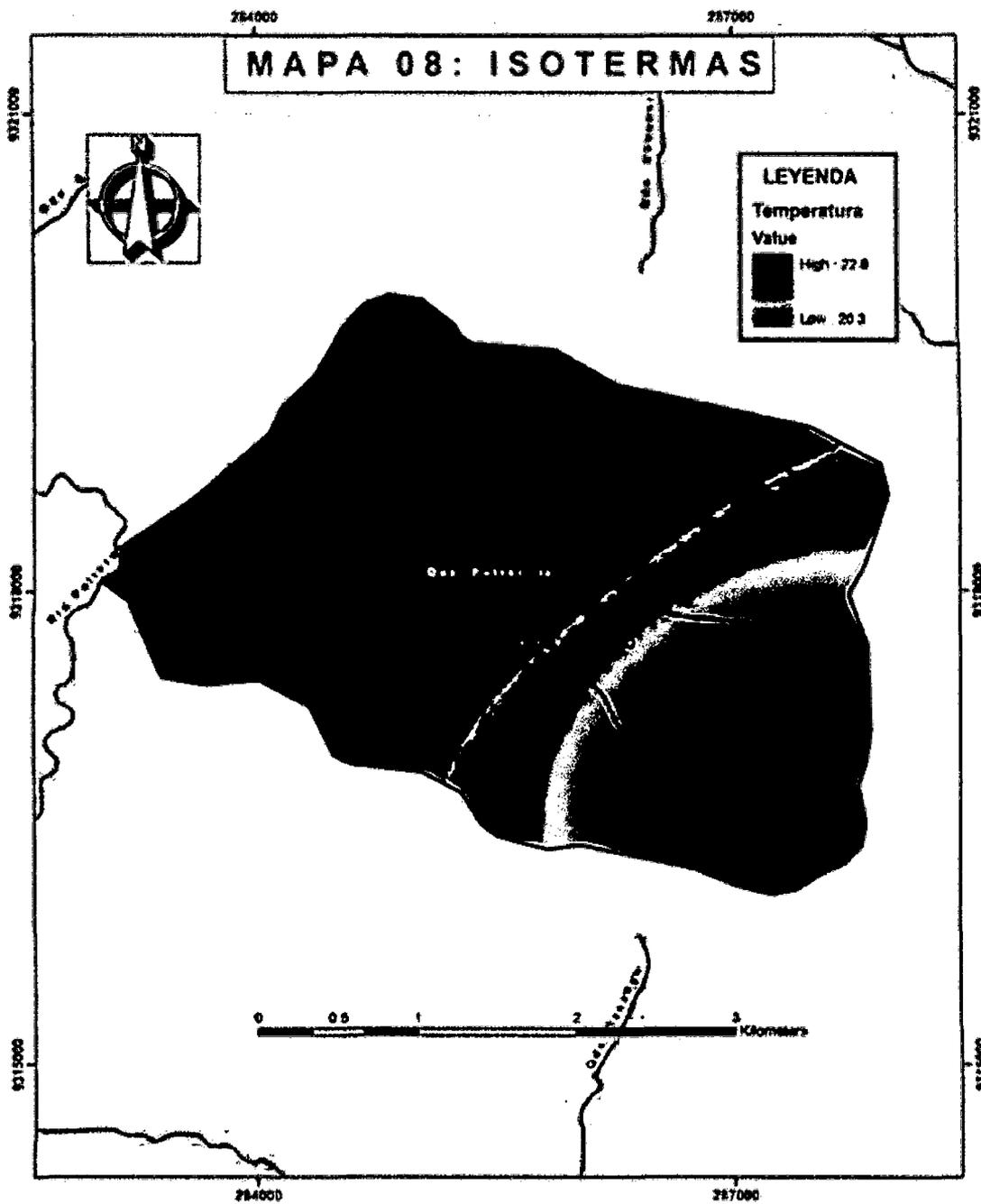


Figura 6. Relación de la precipitación (mm) con la altitud (m.s.n.m.).

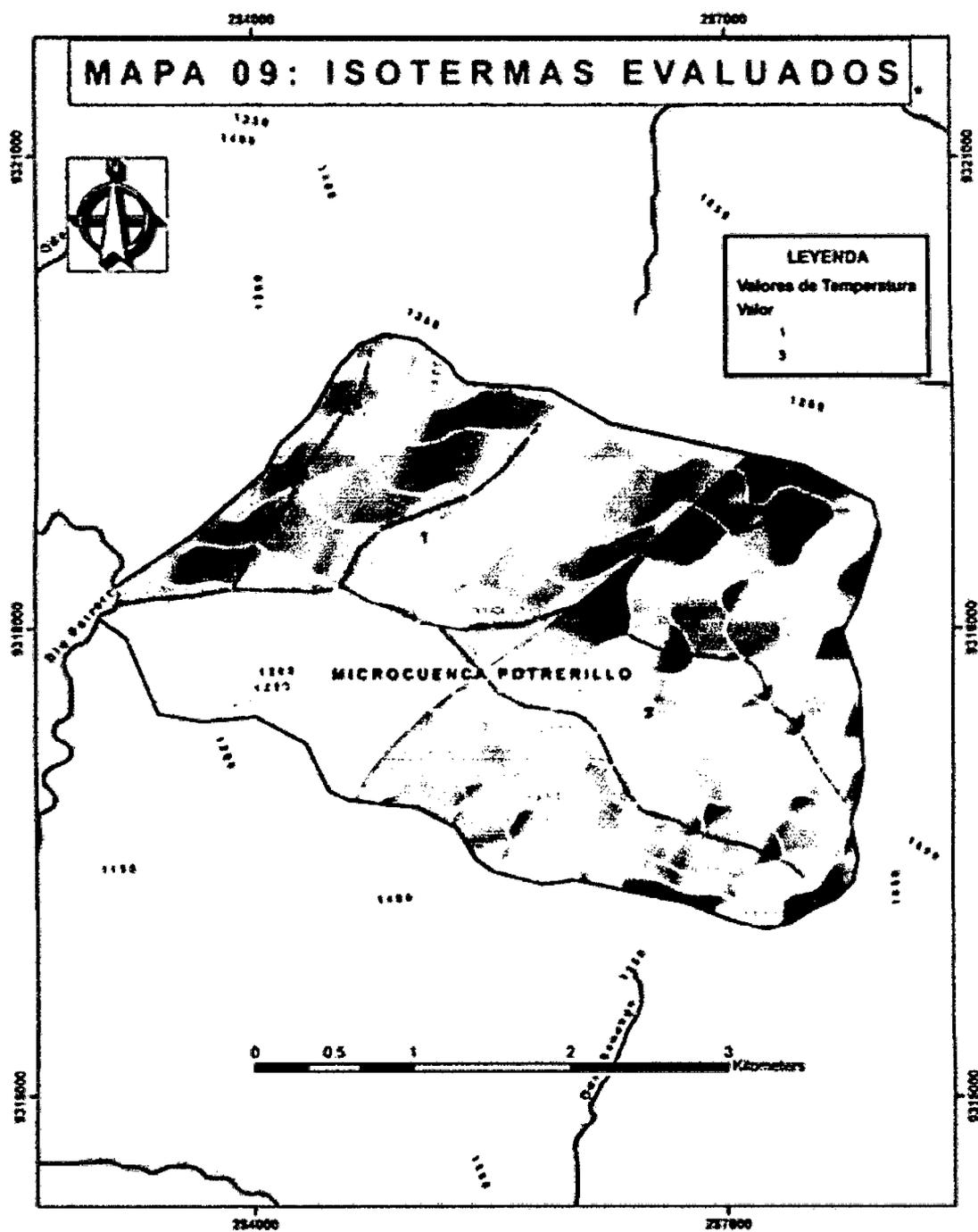
4.1.2. Temperatura (T)

Para determinar la distribución espacial de la temperatura (media/anual) en la microcuenca Potrerillo se recopiló los datos de las estaciones meteorológicas consideradas para la investigación del periodo 2006 al 2010 (ver anexo 3) a través de los rangos establecidos por PROAMAZONIA (2003).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 7. Mapa de isotermas de la microcuenca Potrerillo.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 8. Mapa de isotermas evaluados de la microcuenca Potrerillo.

Cuadro 20. Distribución de la temperatura en la microcuenca Potrerillo.

Unidad	Altitud (msnm)	Temp. (°C)	Rango	Valor	Área (ha)	Porcentaje (%)
Unidad 1	1000 - 1350	22.0 - 22.8	> 22	1	581.97	47.14
Unidad 2	1350 - 1650	20.3 - 22	18 - 22	3	591.8	52.86
Total					1173.77	100

Respecto al análisis de varianza realizado para la regresión lineal realizada entre la temperatura y la altitud (Cuadro 21), se ha determinado que existe y se acepta la regresión entre las dos variables.

Cuadro 21. ANVA de la relación entre la temperatura (°C) y la altitud (msnm).

FV	GL	SC	CM	F	Significancia
Regresión	1	6.570	6.570	125.524	<0.01**
Residuos	10	0.523	0.052		
Total	11	7.093			

** Alta significancia estadística ($p < 0.01$).

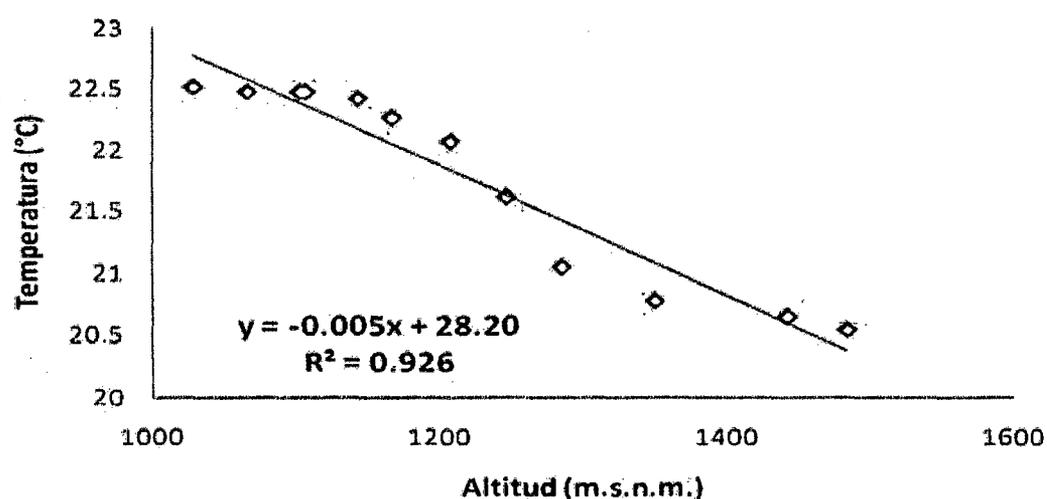


Figura 9. Relación de la temperatura (°C) con la altitud (m.sn.m).

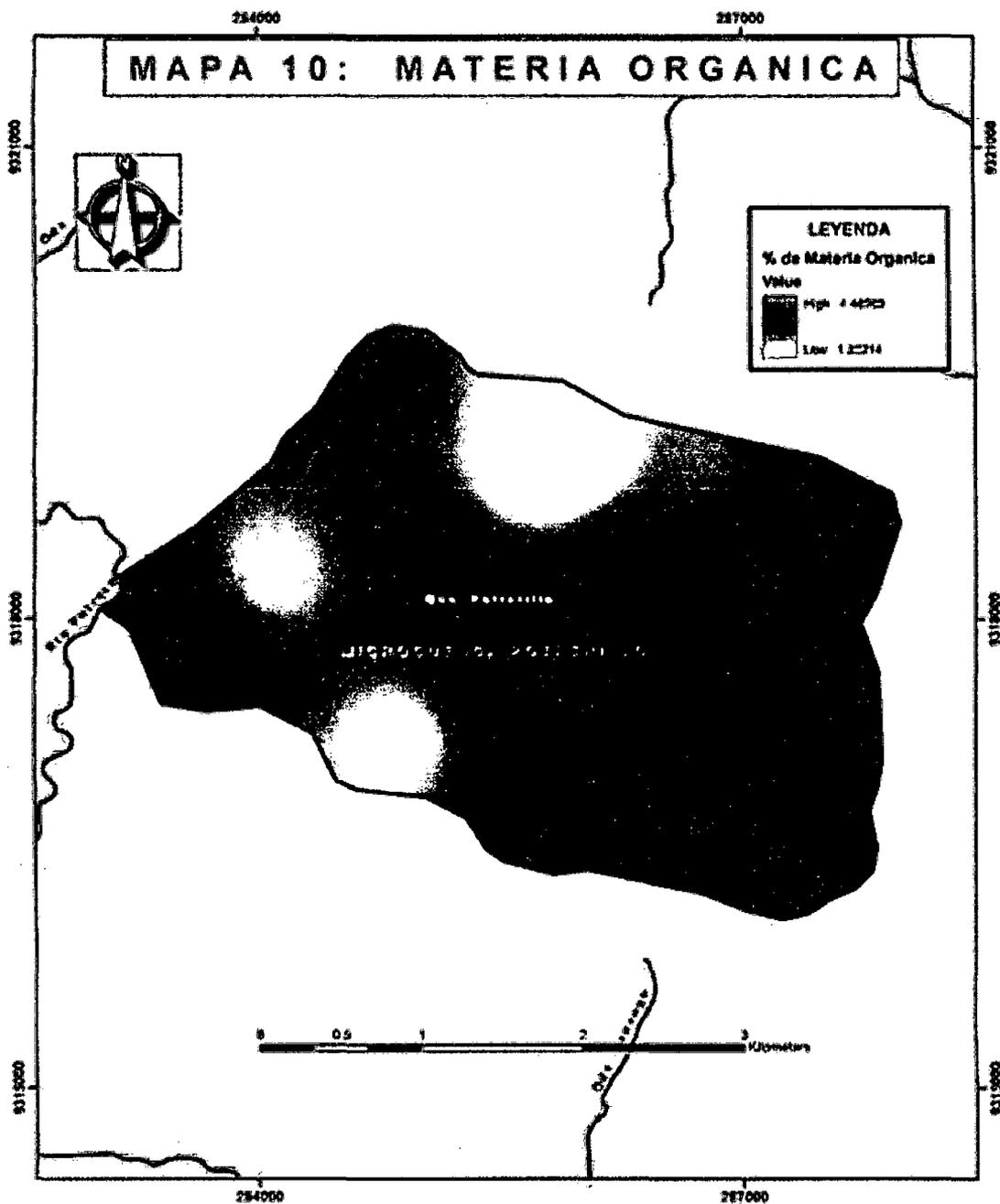
4.2. Propiedades físico - químicas

4.2.1. Materia orgánica (M.O.)

Cuadro 22. Distribución del porcentaje (%) de la materia orgánica en la microcuenca Potrerillo.

Unidad	Materia orgánica (%)	Rango	Valor	Área (ha)	Porcentaje (%)
Unidad 1	4.12	> 2	3	57.34	4.89
Unidad 2	2.43	> 2	3	93.94	8.00
Unidad 3	3.23	> 2	3	79.16	6.74
Unidad 4	2.31	> 2	3	84.16	7.17
Unidad 5	3.22	> 2	3	148.67	12.67
Unidad 6	1.30	1 – 2	2	79.35	6.76
Unidad 7	4.49	> 2	3	76.12	6.49
Unidad 8	3.52	> 2	3	71.25	6.07
Unidad 9	2.83	> 2	3	39.67	3.38
Unidad 10	4.42	> 2	3	205.46	17.50
Unidad 11	3.85	> 2	3	119.19	10.15
Unidad 12	4.27	> 2	3	119.46	10.18
Total				1173.77	100

Fuente: Elaboración propio.



Fuente: Elaboración propio

Figura 19. Mapa de distribución espacial de la materia orgánica en la microcuenca Potrerillo.

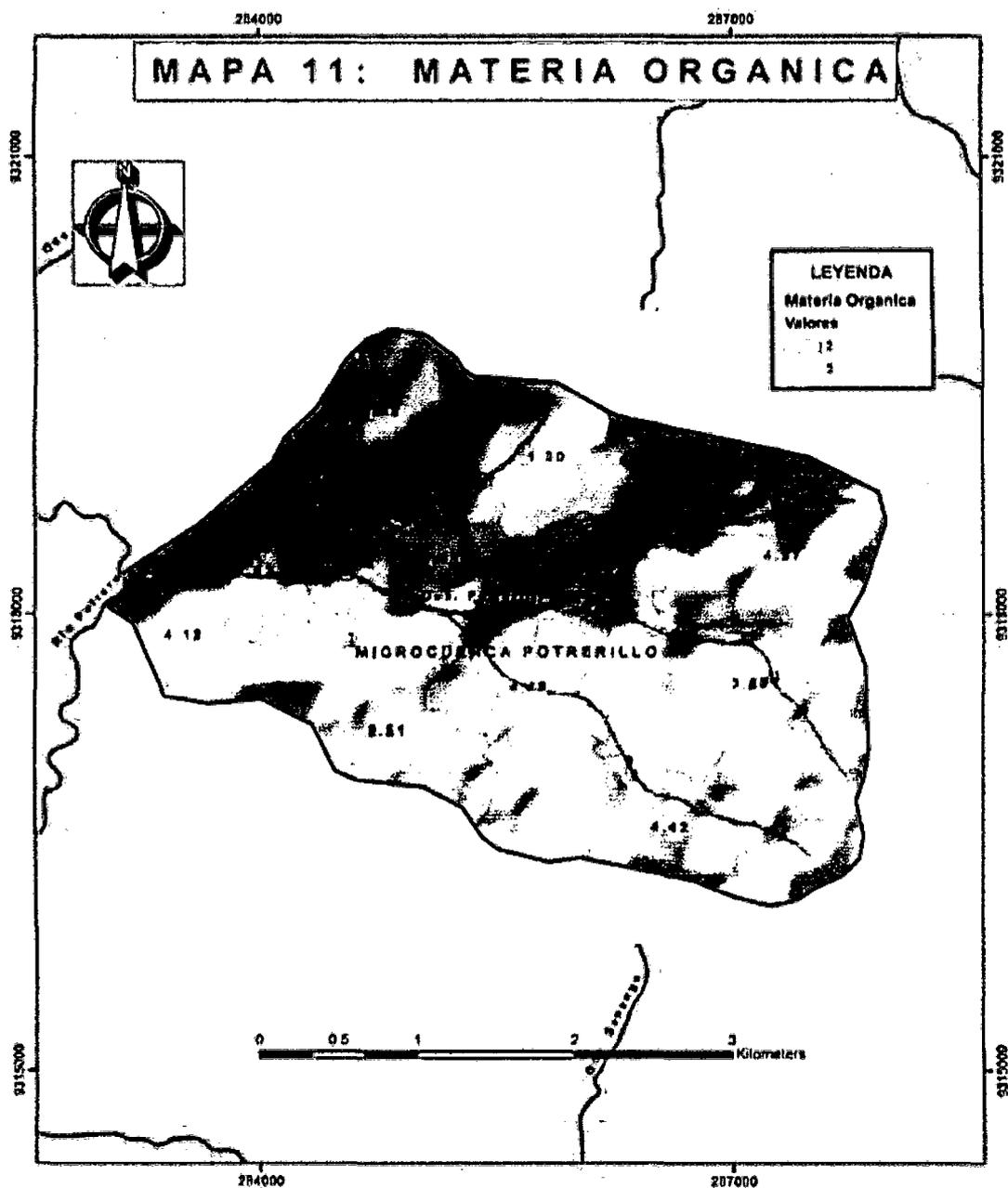


Figura 10. Mapa de distribución de la materia orgánica evaluado en la microcuenca Potrerillo.

Referente al análisis de varianza realizado para la regresión lineal elaborada, se ha encontrado alta significancia estadística, aceptando la regresión entre estas dos variables (Cuadro 23).

Cuadro 23. Análisis de varianza de la relación entre la temperatura (°C) y la materia orgánica (%).

FV	GL	SC	CM	F	Significancia
Regresión	1	6.536	6.536	23.690	<0.01**
Residuos	10	2.759	0.276		
Total	11	9.296			

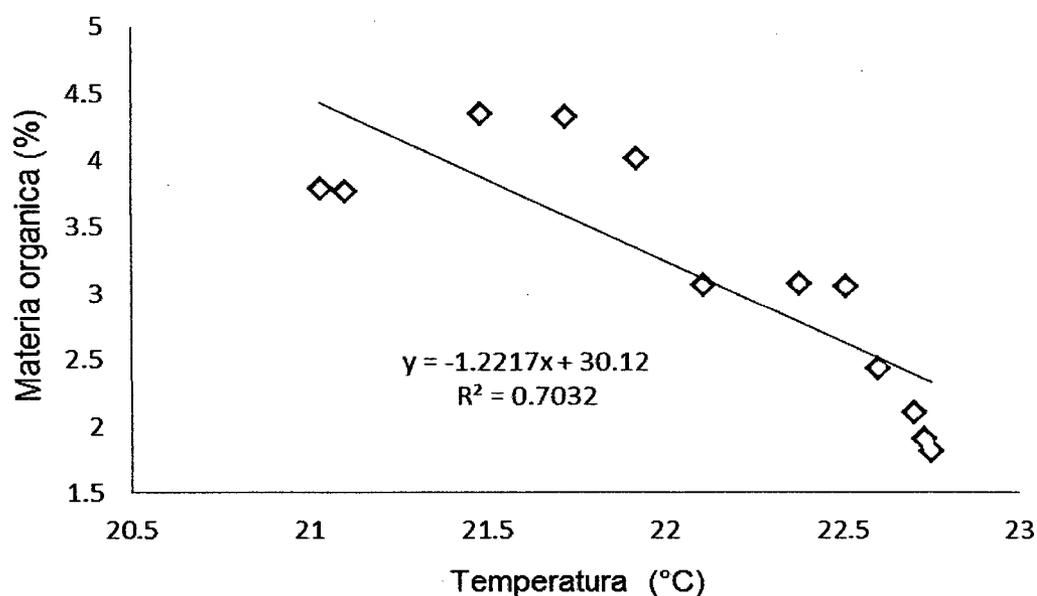


Figura 11. Relación de la materia orgánica (%) con la temperatura (°C).

4.2.2. Reacción del suelo (pH)

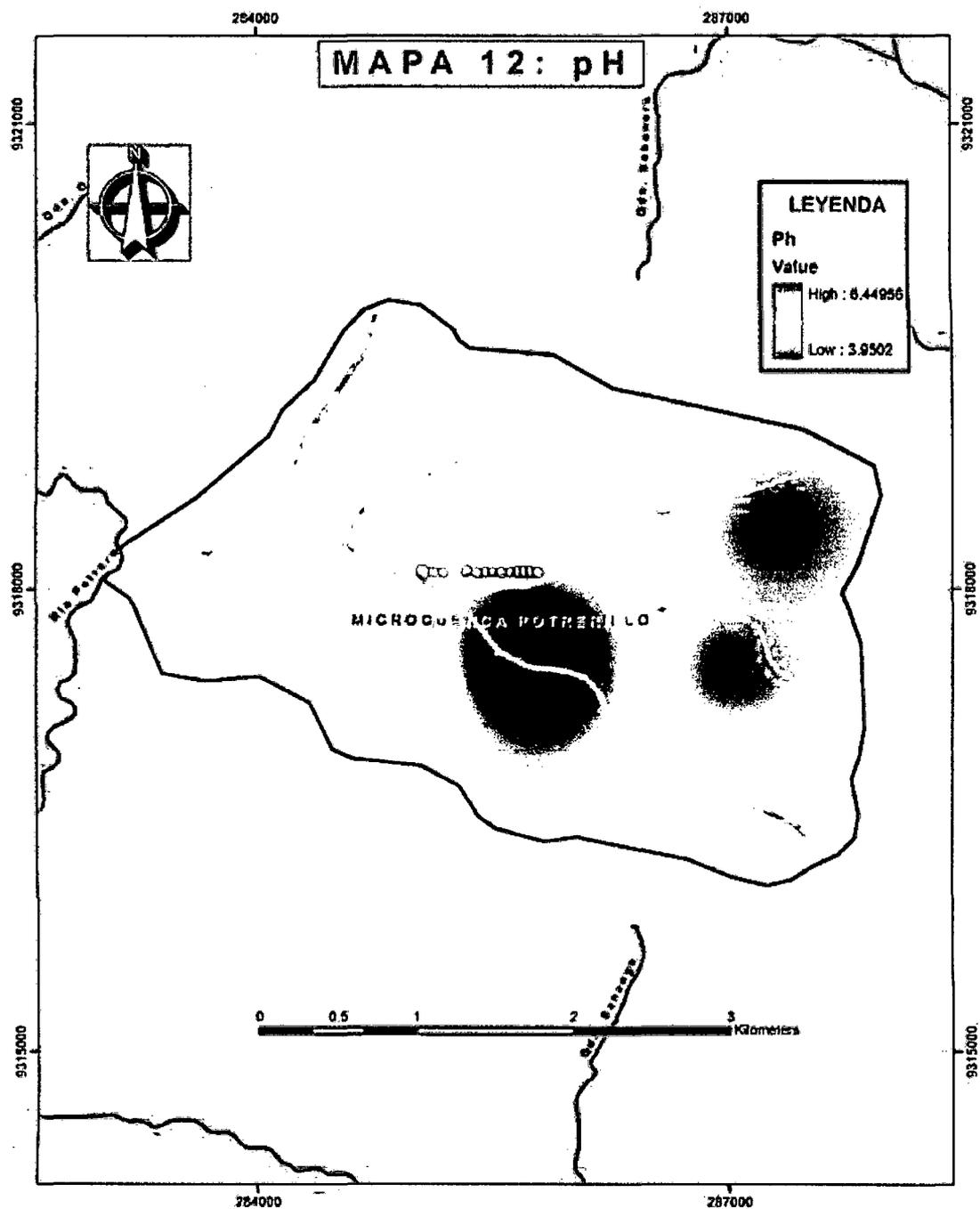
Con los resultados del análisis de suelos obtenidos de la laboratorio del ICT se hallaron valores de pH que van desde los 3.95 a 6.45 en toda la cuenca. Se encontraron condiciones óptimas para el cultivo de café en la unidad 12 con pH de 6.45, ubicando el rango de 5.5 a 6.5, adquiriendo un

valor de 3 con una extensión de 119.96 ha (10.18%), mientras que en las unidades 3, 5, 6, 7, 9 y 10 se encontró pH de 4.54 a 5.08 ubicándose en los rangos de 4.5 a 5.5 y tomando valor de 2 con un área de 628.43 (54%), así mismo, a las unidades 1, 2, 4, 8 y 11 se les asignó el valor de 1 por presentar pH menores a 4.5 abarcando un área de 306.69 ha (36%).

Cuadro 24. Distribución del contenido del pH en la microcuenca Potrerillo.

Unidad	pH	Rango	Valor	Área (ha)	Porcentaje (%)
Unidad 1	4.01	< 4.5	1	57.34	4.89
Unidad 2	4.47	< 4.5	1	93.94	8
Unidad 3	4.72	4.5 – 5.5	2	79.16	6.74
Unidad 4	4.4	< 4.5	1	84.16	7.17
Unidad 5	4.95	4.5 – 5.5	2	148.67	12.67
Unidad 6	5	4.5 – 5.5	2	79.35	6.76
Unidad 7	4.6	4.5 – 5.5	2	76.12	6.49
Unidad 8	4.43	< 4.5	1	71.25	6.07
Unidad 9	5.08	4.5 – 5.5	2	39.67	3.38
Unidad 10	4.54	4.5 – 5.5	2	205.46	17.5
Unidad 11	3.95	< 4.5	1	119.19	10.15
Unidad 12	6.45	5.5 – 6.5	3	119.46	10.18
Total				1173.77	100

Fuente: Elaboración propio.



Fuente: Elaboración propio

Figura 12. Distribución espacial del pH en la microcuenca Potrerillo.

4.2.3. Textura (Tx)

Cuadro 25. Textura (1978).

Unidad	Partículas (%)			Textura	Rango	Valor	Área (ha)	Porcentaje (%)
	Arena	Limo	Arcilla					
Unidad 1	46.24	20	33.76	Franco arcillo arenoso	Medio	3	57.34	4.89
Unidad 2	49.16	17.64	33.2	Franco arcillo arenoso	Medio	3	93.94	8
Unidad 3	41.16	21.64	37.2	Franco arcilloso	Medio	3	79.16	6.74
Unidad 4	53.16	17.64	29.2	Franco arcillo arenoso	Medio	3	84.16	7.17
Unidad 5	31.16	25.64	43.2	Arcilloso	Pesado	2	148.67	12.67
Unidad 6	53.16	17.64	29.2	Franco arcillo arenoso	Medio	3	79.35	6.76
Unidad 7	52.24	16	31.76	Franco arcillo arenoso	Medio	3	76.12	6.49
Unidad 8	41.16	21.64	37.2	Franco arcilloso	Medio	3	71.25	6.07
Unidad 9	15.16	33.64	51.2	Arcilloso	Pesado	2	39.67	3.38
Unidad 10	18.24	24	57.76	Arcilloso	Pesado	2	205.46	17.5
Unidad 11	61.16	15.64	23.2	Franco arcillo arenoso	Medio	3	119.19	10.15
Unidad 12	18.24	28	53.76	Arcilloso	Pesado	2	119.46	10.18
TOTAL							1173.77	100

Fuente: Elaboración propia.

En la microcuenca Potrerillo podemos afirmar que la mayor cantidad 76.62% de áreas se encuentran en condiciones óptimas para el cultivo de café de acuerdo a la variable altitud.

Cuadro 26. Estratificación de la microcuenca Potrerillo.

Unidad	Altitud (m.s.n.m.)	Rango	Valor	Área (ha)	Porcentaje (%)
Unidad 1	1000 - 1200	900 – 1200	2	274.47	23.38
Unidad 2	1201 – 1650	> 1200	3	899.3	76.62
Total				1173.77	100

Fuente: Elaboración propio.

4.4. Modelamiento climático (precipitación y temperatura)

Cuadro 27. Modelamiento climático.

Unidad	Valores Climáticos (precipitación y temperatura)	Total	Porcentaje	
			Área (ha)	(%)
Unidad 1	1 – 3	3	13.33	1.14
Unidad 2	1 – 1	1	531.71	45.30
Unidad 3	3 – 3	9	519.71	44.28
Unidad 4	3 – 1	3	49.97	4.26
Unidad 5	2 – 3	6	54.06	5.03
Total			1173.77	100

Fuente: Elaboración propia.

La distribución espacial del clima (precipitación y temperatura), donde las condiciones óptimas para la producción del café según aptitud productiva se encuentran en la unidad 3 (con un valor total de 9) abarcando un área de 519.71 ha (44.28%) ubicado entre la zona media y alta de la cuenca, se muestra en la figura 26.

En la unidad 1 3 y 5 se encontraron óptimas condiciones de temperatura (18 – 22 °C), no siendo el caso de la unidades: 2 y 4, la cuales presentan limitaciones de esta variable, de acuerdo a los requerimientos del cafeto; las unidades 1 y 5 presentan bajos niveles de precipitación induciendo al estrés hídrico de las plantaciones y alterando su producción, la evaluación de estas variables posicionan dichas áreas en un rango de condiciones climáticas medias (con un valor total de 3 y 6) para el desarrollo y producción del cafeto con una extensión de 104.03 ha (9.29%).

Así mismo en la unidad 2 con 531.71 ha (45.30%) se encontraron condiciones bajas (con un valor total de 1) tanto en precipitación y temperatura ubicando así, a esta área en una zona con limitaciones climáticas según el modelamiento climático.

4.5. Modelamiento edáfico (pH, textura y materia orgánica)

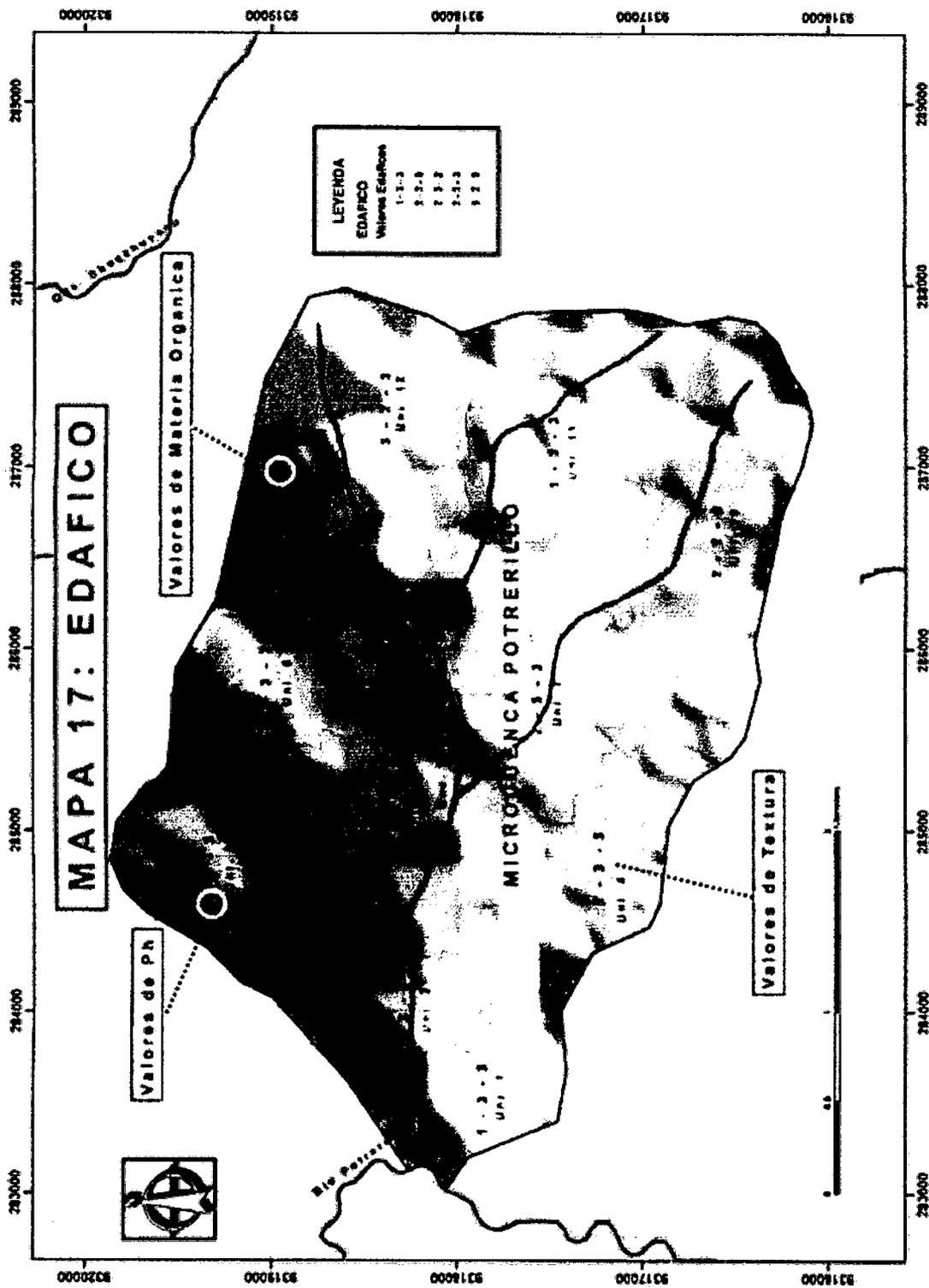
Las unidades 3, 4, 6, 11 y 12 presentan un valor total de 18, con el cual se manifiesta las condiciones óptimas de las propiedades físico – químicas del suelo (pH, textura, y materia orgánica) garantizándose con estas

características un buen desarrollo y producción del cafeto, abarcando un área de 481.30 ha (41%), se muestra en la Figura 27.

Cuadro 28. Modelamiento edáfico.

Unidad	Valores Edáficos (pH, Textura y Materia orgánica)	Total	Área (ha)	Porcentaje (%)
Unidad 1	1 – 3 – 3	9	57.34	4.89
Unidad 2	1 – 3 – 3	9	93.94	8.00
Unidad 3	2 – 3 – 3	18	79.16	6.74
Unidad 4	2 – 3 – 3	18	84.14	7.17
Unidad 5	2 – 2 – 3	12	148.65	12.67
Unidad 6	2 – 3 – 3	18	79.35	6.76
Unidad 7	2 – 2 – 3	12	76.12	6.49
Unidad 8	2 – 3 – 2	12	71.25	6.07
Unidad 9	1 – 3 – 3	9	39.67	3.38
Unidad 10	2 – 2 – 3	12	205.46	17.50
Unidad 11	3 – 2 – 3	18	119.19	10.15
Unidad 12	2 – 3 – 3	18	119.46	10.18
Total			1173.77	100

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 17. Mapa edáfico de la microcuena Potrerillo.

En las unidades 1, 2, 5, 7, 8, 9 y 10 se presentan el total de valores que van desde los 9 a 12, considerándose en este rango un nivel medio de las propiedades físico – químicas del suelo, de este modo los cafetales instalados en estas unidades presentarán limitación en el desarrollo y producción de las plantas, con una extensión de 692.47 ha (59%).

4.6. Modelamiento edafo - climático(pH, textura, materia orgánica, precipitación y temperatura)

Cuadro 29. Modelamiento Edafo – Climático.

Unidad	Valores Edafo - climáticas (pH,		Total Área (ha)	Porcentaje (%)
	Textura, Materia orgánica, precipitación y temperatura)			
Unidad 1	1 - 3 - 3 - 3 - 3	81	117.23	9.99
Unidad 2	1 - 3 - 3 - 2 - 3	54	2.01	0.17
Unidad 3	1 - 3 - 3 - 1 - 1	9	57.19	4.87
Unidad 4	2 - 3 - 3 - 1 - 1	18	78.95	6.73
Unidad 5	2 - 3 - 3 - 1 - 3	54	8.88	0.76
Unidad 6	2 - 3 - 3 - 1 - 1	18	47.31	4.03
Unidad 7	2 - 3 - 3 - 3 - 3	162	27.6	2.35
Unidad 8	2 - 2 - 3 - 3 - 3	108	149.24	12.71
Unidad 9	2 - 2 - 3 - 2 - 3	72	56.01	4.77

Unidad 10	1 - 3 - 3 - 1 - 1	18	93.85	8
Unidad 11	2 - 2 - 3 - 1 - 1	12	7.08	0.6
Unidad 12	2 - 2 - 3 - 3 - 3	108	12.09	1.03
Unidad 13	2 - 2 - 3 - 3 - 1	36	20.27	1.73
Unidad 14	2 - 3 - 2 - 1 - 1	12	77.87	6.63
Unidad 15	2 - 3 - 2 - 3 - 1	36	1.26	0.11
Unidad 16	1 - 3 - 3 - 1 - 1	9	12.87	1.1
Unidad 17	1 - 3 - 3 - 3 - 3	81	33.13	2.82
Unidad 18	1 - 3 - 3 - 3 - 1	27	25.41	2.16
Unidad 19	2 - 2 - 3 - 1 - 1	12	148.77	12.67
Unidad 20	3 - 2 - 3 - 3 - 3	162	118.34	10.08
Unidad 21	3 - 2 - 3 - 3 - 1	54	0.65	0.05
Unidad 22	2 - 3 - 3 - 1 - 3	54	4.45	0.38
Unidad 23	2 - 3 - 3 - 1 - 1	18	9.19	0.78
Unidad 24	2 - 3 - 3 - 3 - 3	162	61.99	5.28
Unidad 25	2 - 3 - 3 - 3 - 1	54	2.16	0.18
Total			1173.77	100

Fuente: Elaboración propia.

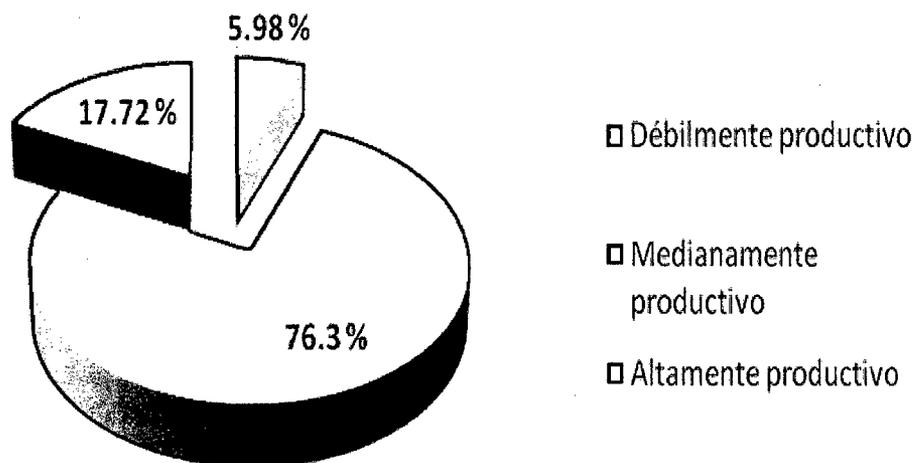
La superposición de las condiciones edafo climáticas, en la que se muestran valores totales que oscilan 9 y 162, presentándose con estos valores

condiciones que limitan y favorecen el desarrollo y producción de la planta del café, se muestra en la Figura 28.

Cuadro 30. Niveles de producción según las condiciones edafo – climáticas.

N° de Unidades	Producción	Área (ha)	Porcentaje (%)
20	Débilmente productivo	70.06	5.98
2	Medianamente productivo	895.8	76.3
3	Altamente productivo	207.91	17.72
TOTAL		1173.77	100

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboracion propia.

Figura 29. Nivel de producción de la microcuenca Potrerillo bajo condiciones edafoclimaticas.

En el Cuadro 30 se presenta el modelamiento del suelo y del clima donde nos muestra las condiciones productivas de las unidades que se encuentran en la cuenca, que se caracterizan por ser débilmente productivas (2 unidades, con una extensión de 70.06 ha), medianamente productivas (20 unidades, abarcando un área de 895.80 ha), y altamente productivas (3 unidades con una superficie de 207.91 ha) estas características de producción son determinadas por la combinación de las condiciones de los factores suelo y clima que en algunos casos favorecen y en otros limitan la capacidad productiva de las plantas.

4.7. Modelamiento edafoclimática y altitudinal (zonas productivas)

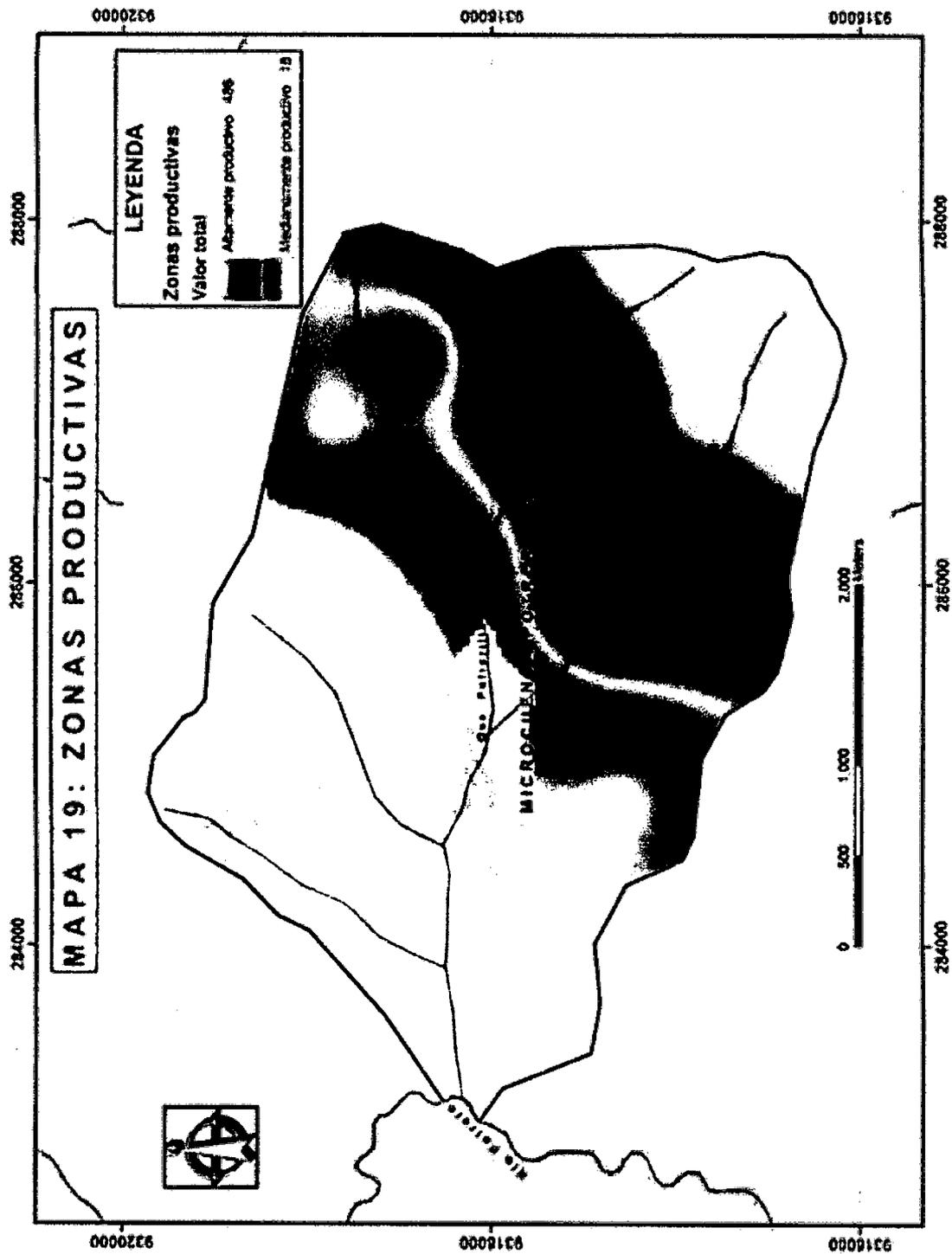
Cuadro 31. Modelamiento edafo – climático y altitudinales.

Unidad	Valores Edafo - climática y altitud (Zonas productivas)	Total	Potencial productivo	Código	Área (ha)	Porcentaje (%)
Unidad 1	1 - 3 - 3 - 3 - 3 - 3	243	Altamente productivo	C	117.23	9.99
Unidad 2	1 - 3 - 3 - 2 - 3 - 3	162	Altamente productivo	C	2.01	0.17
Unidad 3	1 - 3 - 3 - 1 - 1 - 2	18	Medianamente productivo	B	51.74	4.41
Unidad 4	1 - 3 - 3 - 1 - 1 - 3	27	Medianamente productivo	B	5.45	0.46
Unidad 5	2 - 3 - 3 - 1 - 1 - 2	36	Medianamente productivo	B	25.39	2.16
Unidad 6	2 - 3 - 3 - 1 - 1 - 3	54	Medianamente productivo	B	53.56	4.56
Unidad 7	2 - 3 - 3 - 1 - 3 - 3	162	Altamente productivo	C	8.88	0.76
Unidad 8	2 - 3 - 3 - 1 - 1 - 3	54	Medianamente productivo	B	47.31	4.03
Unidad 9	2 - 3 - 3 - 3 - 3 - 3	486	Altamente productivo	C	27.6	2.35

Unidad 10	2 - 2 - 3 - 3 - 3 - 3	324	Altamente productivo	C	149.24	12.71
Unidad 11	2 - 2 - 3 - 2 - 3 - 3	216	Altamente productivo	C	56.01	4.77
Unidad 12	1 - 3 - 3 - 1 - 1 - 2	18	Medianamente productivo	B	86.51	7.37
Unidad 13	2 - 3 - 3 - 1 - 1 - 3	54	Medianamente productivo	B	7.34	0.62
Unidad 14	2 - 2 - 3 - 1 - 1 - 3	36	Medianamente productivo	B	7.08	0.6
Unidad 15	2 - 2 - 3 - 3 - 3 - 3	324	Altamente productivo	C	12.09	1.03
Unidad 16	2 - 2 - 3 - 3 - 1 - 3	108	Medianamente productivo	B	20.27	1.73
Unidad 17	2 - 3 - 2 - 1 - 1 - 3	54	Medianamente productivo	B	77.87	6.63
Unidad 18	2 - 3 - 2 - 3 - 1 - 3	108	Medianamente productivo	B	1.26	0.11
Unidad 19	1 - 3 - 3 - 1 - 1 - 2	18	Medianamente productivo	B	0.73	0.06
Unidad 20	1 - 3 - 3 - 1 - 1 - 3	27	Medianamente productivo	B	12.64	1.08
Unidad 21	1 - 3 - 3 - 3 - 3 - 3	243	Altamente productivo	C	33.13	2.82
Unidad 22	1 - 3 - 3 - 3 - 1 - 2	54	Medianamente productivo	B	0.85	0.07
Unidad 23	1 - 3 - 3 - 3 - 1 - 3	81	Medianamente productivo	B	25.32	2.16
Unidad 24	2 - 2 - 3 - 1 - 1 - 2	24	Medianamente productivo	B	108.25	9.22

Unidad 25	2 - 2 - 3 - 1 - 1 - 3	36	Medianamente productivo	B	40.52	3.45
Unidad 26	3 - 2 - 3 - 3 - 3 - 3	486	Altamente productivo	C	118.34	10.08
Unidad 27	3 - 2 - 3 - 3 - 1 - 3	162	Altamente productivo	C	0.95	0.08
Unidad 28	2 - 3 - 3 - 1 - 3 - 3	162	Altamente productivo	C	4.45	0.38
Unidad 29	2 - 3 - 3 - 1 - 1 - 2	36	Medianamente productivo	B	1.48	0.13
Unidad 30	2 - 3 - 3 - 1 - 1 - 3	54	Medianamente productivo	B	5.81	0.49
Unidad 31	2 - 3 - 3 - 3 - 3 - 3	486	Altamente productivo	C	61.99	5.28
Unidad 32	2 - 3 - 3 - 3 - 1 - 2	108	Medianamente productivo	B	0.81	0.07
Unidad 33	2 - 3 - 3 - 3 - 1 - 3	162	Altamente productivo	C	1.7	0.14
TOTAL					1173.77	100

Fuente: Elaboración propia.



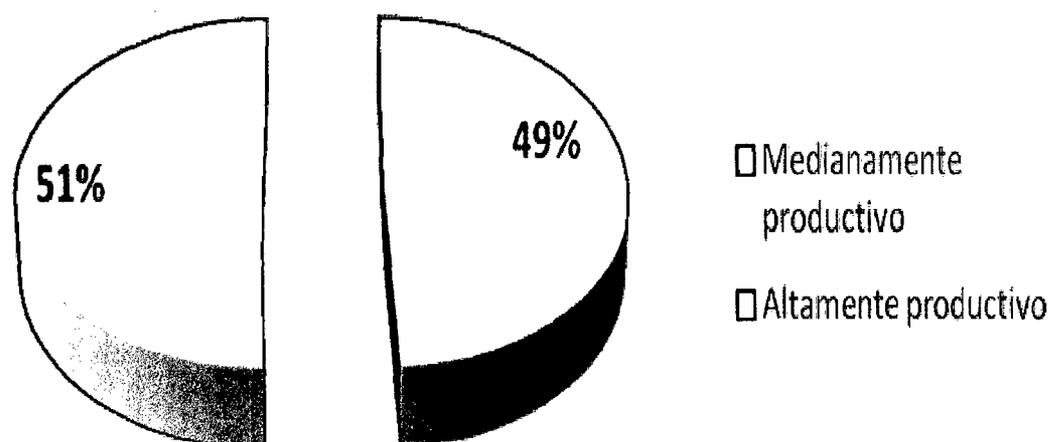
Fuente: Elaboración propia.

Figura 19. Mapa de zonas productivas con sus respectivos valores totales.

Cuadro 32. Niveles de producción según las condiciones edafoclimáticas y altitudinales.

N° de Unidades	Producción	Área (ha)	Porcentaje (%)
20	Medianamente productivo	580.19	49.43
13	Altamente productivo	593.62	50.57
TOTAL		1173.77	100

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboracion propia.

Figura 21. Niveles de producción de la microcuenca Potrerillo según condición edafo - climática y altitudinal.

4.8. Validación de resultados

Los resultados obtenidos del modelamiento se validaron en campo a través de encuestas e inspecciones *in situ*.

Cuadro 33. Validación de los resultados.

Unidad	Productor	Producción (qq/ha)		Condición real (qq/ha)	Condición según investigación (OEEEA) (qq/ha)
		2010	2011		
17	Pablo Cubas Dávila	12	14	13	12 - 16
3	Wilder Díaz paredes	11	10	10.5	< 12
31	Carmen Dávila Linares	16	17	16.5	> 16
10	Aureliano Pérez Díaz	19	20	19.5	> 16
26	Artemio Guevara Díaz	17	17	17	> 16
24	Aladino Tuesta Valles	13	15	14	12 - 16

Fuente: Elaboración propia.

El cuadro 33 muestra que, las unidades 31, 10 y 26, que están ubicadas en zonas altamente productivas con buenas condiciones ambientales y altitudinales, tienen una producción promedio de 16.5 a 19.5 qq/ha, lo cual refleja la similitud de los resultados obtenidos en el análisis predictivo con los resultados hallados en el campo.

V. DISCUSIÓN

Con los datos de precipitación anual recopilados de las estaciones meteorológicas del área de estudio, se lograron identificar 3 unidades a través del método de las isoyetas (interpolación), como se observa en la Figura 15.

Las precipitaciones optimas (valor 3), se ubican en la unidad 2 (parte media y alta de la cuenca) y se hallan dentro del rango de 1600 a 1800 mm/año, abarcando un área de 570.20 ha (48.58%).

Así mismo, en la unidad 1 se encontró precipitaciones que oscilan desde 1445 a 1600 mm (valor 1), posee un área de 545.36 ha (46.46%) y se localiza en la parte baja de la cuenca. En la cuenca alta se encuentra la unidad 3 con precipitaciones de 1800 a 1845 mm estableciéndose en el rango mayores a 1800 mm y por ende toman el valor de 2, posee una superficie de 58.21 ha (4.96%) según la metodología establecida.

Por tanto, podemos afirmar que el mayor número de hectáreas de la microcuenca Potrerillo (570.20 ha) se encuentran en condiciones óptimas para el cultivo de café, tomando en cuenta, la variable precipitación.

Cuando cesan las lluvias las plantas entran fisiológicamente en un periodo de descanso para formar los botones florales como consecuencia de la

eliminación de ácido accícico, idealmente se necesita un período de dos meses para formar el mayor número de estaquillas transformándose después en botones florales, en la época de llenado de grano las sequias prolongadas son perjudiciales ya que causan el vaneamiento y presencia de granos negros (CASTAÑEDA, 1997), dichos problemas ponen en riesgo los cafetales de la cuenca baja de la microcuenca Proterillo, debido a que se determinaron precipitaciones menores a 1600 mm/año en esa zona (Figura 40).

La distribución uniforme de las lluvias durante el año contribuye significativamente a la eliminación de la hormona ácido accícico para que se desarrollen las estaquillas y con ello los botones florales (ADRIAZOLA, 2008), en la presente investigación realizada encontramos precipitaciones óptimas y distribuidas uniformemente desde los 1600 a 1800 mm por año abarcando una área de 570.20 ha (48.58%) correspondiente a la unidad 2.

Las precipitaciones óptimas también se reflejan en la buena floración del cafeto (Figura 37) y un mejor llenado del grano, debido a que se activa la hormona llamada ácido giberélico, sustancia responsable de promover la floración y fructificación en el café, así mismo contribuye a la traslocación de las sustancias nutritivas del suelo y el espacio, ya que las precipitaciones óptimas son responsables del crecimiento de la planta, floración y fructificación (ADRIAZOLA, 2008). La parte media y alta de la microcuenca Potrerillo (unidad 2) recibe precipitaciones que oscilan entre 1445 y 1858 mm/año que son consideradas como óptimas para el cafeto.

Según CASTAÑEDA (1997), el exceso de lluvias en plantaciones con deficientes prácticas culturales (inadecuadas podas, presencia de malezas), crean microclimas para la presencia de enfermedades causadas por hongos como: ojo de gallo y araño; los cafetales ubicados en la unidad 3 (52.8 ha), presentan lluvias excesivas, generalmente por encima de los 1800 mm/año y por ende corren el riesgo de presencia de enfermedades (Figura 39) al no realizar buenas prácticas culturales, contribuyendo así a la baja productividad y mala calidad física y organoléptica del café.

CASTAÑEDA (1997) afirma que conforme aumenta la altitud en razón de 100 metros se incrementan las precipitaciones en un rango de 10 a 25 mm/mes (120 a 300 mm/año), sin embargo, las precipitaciones registradas en la microcuenca Potrerillo aumenta en promedio 5.8 mm/mes (69 mm/año) por cada 100 metros de altitud, dichas diferencias se deben a las constantes fluctuaciones del clima, la cantidad de información analizada y también a la extensión de la cuenca estudiada, así mismo, se observa una relación fuerte entre estas variables ($R^2 = 0.983$) con alta significancia estadística en esta relación (Cuadro 19).

Luego de realizar el análisis de temperaturas de la microcuenca en estudio, se determinó que la misma oscila entre 20 a 22.8 °C, dichas cifras nos permiten dividir la cuenca en 2 sub áreas de acuerdo a sus aptitudes para la producción del café.

La unidad II con una extensión de 591.8 ha (52.86%), posee temperaturas que varían de 20 – 22 °C (entre 18 y 22 °C), son las más adecuadas para el óptimo desarrollo del café, debido a ello se les asignó el valor de 3, así mismo, al evaluar la unidad I se encontró temperaturas que varían de 22 a 22.8 °C ubicándose en el rango mayores a 22 °C y tomando un valor de 1 según la metodología establecida con un área de 581.97 ha (47.14%) del total de la cuenca.

Por lo tanto la Figura 17, nos indica que las condiciones óptimas de temperatura para el desarrollo del cultivo de café se encuentran ubicadas de la parte media a la parte alta de la cuenca en estudio abarcando un área de 591.80 ha.

ESCARRAMAN (2007) afirma que las altas temperaturas aceleran la maduración del fruto y por ende un mal llenado del grano, produciéndose granos de baja densidad (peso) como consecuencia de la concentración de ácido accícico en las zonas de crecimiento, proceso que retarda y reduce la aparición de nuevos brotes. En la microcuenca Potrerillo la unidad 1 (581.97 Ha) está por encima de los 22 °C donde los cafetales instalados en esta unidad se encuentran en riesgo de acelerar la maduración de sus frutos y por ende incrementar las cantidades de granos vanos (Figura 39), lo cual conlleva a una baja producción y precario rendimiento.

Según PROAMAZONIA (2003), las temperaturas óptimas (18 °C - 22 °C) de las zonas de producción favorecen un mejor llenado del grano y una

mayor concentración de componentes dentro de la estructura interna del fruto obteniendo un mayor peso en rendimiento de las cosechas así como también se ven influenciados en su óptimo desarrollo vegetativo, buena floración y un mejor desarrollo de los frutos.

La unidad 2 (591.80 ha) de la microcuenca se encuentra dentro del rango óptimo de temperatura; los cafetales instalados dentro de esta unidad se caracterizan por un adecuado llenado de granos, mayor densidad (peso) de los frutos y una buena floración.

La Figura 18 nos indica que a mayor altitud la temperatura disminuye, es decir por cada 100 metros de altura disminuye la temperatura en un rango de 0.3 - 0.5 °C (CASTAÑEDA, 1997), en la microcuenca Potrerillo existe una similitud con lo que afirma este autor debido a que se encontraron temperaturas que ascienden desde los 20.3 hasta los 22.8 °C (ver en el mapa 08 de isotermas) disminuyendo 0.4 °C por cada 100 metros de altura con un correlación de 0.926 entre la temperatura y la altitud.

La cantidad de materia orgánica de los suelos de la microcuenca Potrerillo se determinó a través de un análisis de fertilidad en el laboratorio del ICT, encontrándose valores que oscilan desde 1.3 a 4.9%. Suelos con cantidades óptimas de materia orgánica para el cultivo del café (mayores a 2%) se encontraron en las unidades 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9,10, 11 y 12; a dichas áreas se les asignó el valor de 3, y en su conjunto abarcan un 93.51% del área total de estudio (1097.65 ha).

En la unidad 6 se encontraron bajas cantidades de materia orgánica (1.3%), motivo por el cual le corresponde el valor de 2, cubre una superficie de 79.35 ha (6.76%). Se puede observar que la mayor parte de los suelos de la microcuenca Potrerillo (93.51%) cuentan con cantidades de materia orgánica óptimas para el buen desarrollo de las plantas de café.

VALENCIA (2005) afirma que las condiciones óptimas de materia orgánica favorecen al suelo ofreciendo una gran variedad de beneficios que condicionan al mismo para lograr las producciones esperadas, además tiene gran influencia en la mejora de las propiedades físicas (mejora la estructura de los suelos, aumenta la agregación de las partículas y el suelo resiste mejor a la erosión e incrementa la aireación la permeabilidad y retención de la humedad), químicas (aumenta la capacidad de buffer o resistencia a cambios de pH, aumenta la capacidad de intercambio de cationes y suministra nutrientes en los cultivos) y biológicas (incrementa la actividad de los microorganismo que ayudan a la mineralización de los residuos orgánicos; en la presente investigación se afirma que el 93.51% del área total de la cuenca se beneficia de las bondades de cantidades óptimas de materia orgánica y que potencialmente pueden ser aprovechadas por las plantaciones de café instaladas en esta zona.

El contenido de materia orgánica en el suelo favorece el reciclaje de nutrimentos, el crecimiento y desarrollo de raíces adventicias y el área de absorción radicular, así mismo disminuye la incidencia de enfermedades como nematodos (MONGUE, 1999). En casi toda la cuenca (1097.65 ha) se

encontraron altos contenidos de materia orgánica (mayores a 2%) los mismos que se reflejan en el buen desarrollo radicular, además los suelos evaluados presentan una alta capacidad de intercambio catiónico (ver anexo 2), el mismo que favorece el flujo de nutrientes en el sistema suelo - planta.

En superficies pequeñas (79.35 ha) se encontraron suelos con bajas cantidades de materia orgánica (menores a 2%) pertenecientes a la unidad 6, los cafetales instalados en esta unidad se encuentran en riesgo de deficiencias de nutrientes, influenciando significativamente en la productividad de los cafetos.

Los bajos contenidos de materia orgánica reducen el proceso de mineralización de los residuos orgánicos, afectando las propiedades físicas como la retención de humedad, que con el paso del tiempo daña la estructura de los suelos; en la presente investigación los suelos, con bajo contenido de materia orgánica, fueron detectados visualmente debido a que presentaban una fina capa de mulch.

A altas temperaturas el contenido de materia orgánica va disminuyendo debido a que la descomposición es muy rápida, mientras que a bajas temperatura hay un alto contenido de materia orgánica pero que está en descomposición (mulch), y a temperatura óptima se encontró materia orgánica descompuesta disponible para la absorción de las raíces de las plantas encontrándose un coeficiente de determinación $R^2 = 0.703$ para la regresión.

En la microcuenca Potrerillo, el 100% de las parcelas se encuentran cubiertas de mulch, pero de manera pasiva, es decir como resultado de la presencia de árboles de sombra en las parcelas instaladas de café. Esto es altamente positivo y minimiza la necesidad de fertilización en las zonas altas, ya que la descomposición de la materia orgánica va aportando algún nivel de nutrientes.

En tanto, la Figura 23 nos demuestra que la mayor cantidad de unidades evaluadas (90%) cuentan con pH menores a 5.5 considerándose suelos fuertemente ácidos según los rangos establecidos por el laboratorio de análisis de suelo del ICT y un 10% del área total de la cuenca son suelos moderadamente ácidos, lo cual es una condición óptima para el cultivo de café de acuerdo a los establecido en la metodología.

Conocer el valor de pH de los suelos es muy útil para el manejo de una buena fertilización; valores entre 5.5 y 6.5 se consideran adecuados para el café. En este rango ocurre cierto grado de actividad microbiana que mineraliza los residuos orgánicos para dejar disponibles nutrientes, especialmente N, P, S (VALENCIA, 2005 y PROAMAZONIA, 2003), ya que las unidades que cuentan con suelos de pH óptimos para el café, tienen un mejor aprovechamiento de los nutrientes del suelo y las plantas presentan buen vigor y producción.

Sin embargo, cuando el pH es inferior a 4.5, puede presentarse toxicidad de aluminio en el complejo de cambio y que dificulta el desarrollo de

las raíces y la absorción de nutrientes, dichas limitaciones presentadas por PROAMAZONIA (2003) están afectadas las unidades (1, 2, 4, 8 y 11) que están por debajo del 4.5 de pH.

La textura de los suelos en estudio se determinaron en el laboratorio del ICT, generalmente las muestras evaluadas pertenecen a texturas medias (francos arcillosos, franco arcillo arenoso) y, en menor proporción a texturas pesadas (arcillosos).

En las unidades 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 11, se determinaron suelos con texturas franco arcillosa y franco arcillo arenosa, lo cual los ubican dentro del rango medio según el cuadro 13; con una extensión de 660.51 ha (56.27%), mientras que en las unidades 5, 9, 10 y 12 se identificaron suelos con textura arcillosa, corresponde al rango de los suelos pesados por lo cual se asignó el valor de 2, según la metodología establecida, llegando a cubrir un área de 513.26 ha (43.73%).

Las texturas finas del suelo favorecen una mayor capacidad de intercambio catiónico debido a la mayor área superficial de sus partículas (ver el anexo 2), sin embargo, los suelos arcillosos favorecen el escurrimiento superficial y encharcamiento (en zonas planas o semiplanas), limitando el desarrollo del cultivo por falta de oxígeno en el área radicular (CASTAÑEDA, 1997), los cafetales instalados en las unidades 5, 9, 10 y 12 presentan dicho riesgo y potencialmente pueden sufrir grandes pérdidas de suelos por erosión laminar.

Así mismo, las texturas medias tienen un balance proporcional de las partículas manteniendo una estructura granular del suelo, propicio para el óptimo desarrollo de la planta, además favorece la aireación a través de una adecuada porosidad, beneficiando al desarrollo radicular para la absorción de nutrientes y soporte del cafeto (CATAÑEDA, 1997), ya que las unidades de la microcuenca que tienen texturas medias cuentan con dichas potencialidades mencionadas por el autor.

El cuadro 26 nos indica que en la microcuenca estudiada se determinaron dos unidades representativas, encontrándose en la unidad 2 altitudes que oscilan desde los 1201 hasta los 1650 m.s.n.m., hallándose en el rango mayores de 1200 m.s.n.m., y tomando el valor de 3 según las mejores condiciones de altitud que establece PROAMAZONIA (2003), con un área de 899.30 ha (76.62%) del total de la cuenca ubicándose en rangos óptimos para el cultivo del café, debido a la mejor interacción de los factores climáticos, así mismo, en la unidad 1 las altitudes van desde los 1000 hasta los 1200 m.sn.m. dentro de los rangos 900 – 1200 m.s.n.m., asignándose un valor de 2 y abarcando un área de 274.47 (23.38%).

La altitud tiene una influencia directamente proporcional a la precipitación e inversa con la temperatura; por lo tanto el desarrollo de los granos es lento y por consiguiente reportan un mayor peso (densidad), como nos afirma Amadeo ESCARAMAN (2007) que, a una buena altitud recomendada (1200 – 1600 m.s.n.m), los granos se obtienen con mayor densidad y como consecuencia mejor calidad del grano ya que los cafetales

instalados en la unidad 2 cumplen con los beneficios que brinda la altitud reflejándose así en la producción y calidad del cafeto.

En cambio los cafetales instalados en zonas bajas (menores de a 1200 m.s.n.m.) el llenado del grano es rápido por lo que presentan una estructura esponjosa con poco contenido de compuestos sólidos y aromáticos ESCARAMAN (2007), obteniéndose granos de menor peso que se refleja en la deficiente calidad física del mismo (granos vanos).

En el Cuadro 31 se presentan las condiciones edafoclimáticas y altitudinales a través del modelamiento SIG mediante la superposición de los mapas temáticos según afirma BARREDO (1995), ya que para cada unidad geográfica se obtienen las características de aptitud, potencial, limitaciones o riesgos geodinámicos, en la presente investigación se logró determinar las características ambientales (clima, suelo) y altitudinales de acuerdo a sus potencialidades o limitaciones de la microcuenca Potrerillo por cada unidad homogénea, con la cual se encontraron rangos de producción media con 20 unidades, abarcando una extensión de 580.19 ha, con un valor total que oscilan de 18 a 108, bajo esta condición los cafetales instalados en estas áreas tienen una producción menor de 16 qq/ha; de igual forma se encontraron 13 unidades con producción alta con un área de 593.62 ha con valores totales que oscilan de 162 a 486, los cafetales instalados en estas áreas tienen una alta producción por encima de 16 qq/ha según OEEEEA (2010), debido a que cumplen con todas las condiciones ambientales requeridos por el cafeto.

En las unidades 17, 3 y 24, ubicadas en zonas medianamente productivas, tienen una producción promedio 10.5 a 14 qq/ha, debido a que estas unidades no cuentan con buenas condiciones ambientales ni altitudinales, lo que se refleja en la baja producción de los cafetos. En la unidad 3 se encontró baja productividad en el campo debido a que los cafetales visitados en esta zona no tienen buenas prácticas culturales (falta de podas y deshierbas), además dichos cafetales están instalados en pendientes empinados a muy empinados, según la caracterización de PROAMAZONIA (2003) afirma que los cafetales no deben estar por encima del 60% de pendiente, de lo contrario se verá reflejado en la baja producción como se observa en la unidad 3, debido a que el agricultor deforesta y aplica tecnologías convencionales, las que al ser utilizadas en zonas de mayor pendiente ocasionan la erosión de la tierra y rompen el equilibrio del ecosistema. Así, en pocos años dicha tierra se vuelve infértil. Dado que el ciclo se repite año tras año, la deforestación acumulada se convierte en un problema que afecta su economía individual, porque cada vez disminuye más su productividad y reduce su tierra así como se afecta el medio ambiente de todo el mundo como se muestra en la Figura 38.

VI. CONCLUSIONES

1. Se determinaron las precipitaciones distribuidas en toda la microcuenca Potrerillo (1445 – 1858 mm/año), encontrándose condiciones óptimas para el café en la parte media y alta de la cuenca correspondientes a la unidad 2 con precipitaciones que oscilan 1600 a 1800 mm/año con un área de 570.20 ha, mientras que en la unidad 1 se encontraron precipitaciones menores a 1600 mm/año con una extensión de 545.36 ha.
2. La distribución espacial de la temperatura muestra que estas varían desde los 20 °C hasta los 22.8 °C para el área de estudio, donde las condiciones óptimas se ubican en la unidad 2 con temperaturas que oscilan 20.3 °C a 22 °C con abarcando una superficie de 591.80 ha, así mismo en la unidad 1 se obtuvieron temperaturas que van desde 22 °C – 22.8 °C con una extensión de 581.97 ha.
3. Se encontró la distribución espacial del contenido de materia orgánica de la microcuenca Potrerillo con porcentajes que oscilan desde los 1.3 hasta los 4.49, encontrándose en la unidad 7 las condiciones óptimas (4.49), abarcando un área de 76.12 ha, mientras en la unidad 6 se halló bajos contenido de materia orgánica (1.3) con una extensión de 79.35 ha.

4. En la unidad 12 se obtuvieron las condiciones óptimas del pH (6.45) para el cafeto con una extensión de 119.46 ha y la unidad 11 presenta bajos de contenidos de pH en el suelo (3.95) abarcando una superficie de 119.19 ha.
5. Se determinaron que las texturas del suelo que tienen las condiciones óptimas (texturas medio) para el cultivo de café cubren el mayor número de áreas (660.51 ha), mientras que en 513.26 ha se encontraron texturas pesadas.
6. Se logró determinar las altitudes de la microcuenca Potrerillo a través de la estratificación dos unidades altitudinales, encontrándose en la unidad 2 las mejores altitudes (1200 – 1650 m.s.n.m.) para el cultivo que repercute en mayor producción, con un área de 899.40 ha, mientras en la unidad 2 se determinaron condiciones medias con rangos de (1000 a 1200 m.s.n.m.) abarcando una superficie de 274.47 ha.
7. El 50.57% (593.62 ha) del área de la microcuenca presenta las mejores condiciones edafoclimáticos y altitudinales (altamente productivas), mientras que el 49.43% (580.19 ha) son áreas que se encuentran en condiciones medianamente productivas.

VII. RECOMENDACIONES

1. Transferir a los agricultores nuevas tecnologías en prácticas culturales conservacionistas y buenas prácticas agrícolas.
2. Fortalecer las capacidades de los habitantes de la microcuenca Potrerillo, por intermedio de las autoridades para así formar la asociatividad de los productores en gestión integral agrícola y de los recursos naturales (aplicación adecuada de las labores culturales).
3. Se recomienda a los profesionales y técnicos utilizar el modelo SIG ya que facilita las investigaciones, reduciendo el tiempo, empleando poco material logístico, así como también reduce el costo de investigaciones.

ABSTRACT

EDAPHOCLIMATIC AND ALTITUDINAL CHARACTERIZATION OF COFFEE GROWERS ZONE APPLYING SIG TECHNOLOGIES IN THE MICROBASIN POTRERILLO, SAN MARTIN REGION

Opposite to the managing with limited technical criterion and breach of the economic and ecological zoning of the Alto Mayo valley on the part of the coffee farmers, the objective was raised determine the best edaphoclimatics and altitudinal conditions of the coffee growers zones of the microbasin Potrerillo , district Jepelacio, province Moyobamba, department San Martin; Between January and June, 2012 works were realized of: pre field, field and the interaction of variables. The physical chemical properties of the soils of the microbasin were identified, where results are obtained as the organic matter ranges from 1.3 - 4.49, the pH ranges from 3.95 to 6.45, being the ideal level the latter value; the ideal texture is the average found in an area of 660.51 has; better altitude changes from 1200 1650 over sea level and covers an area of 899.40 has. The edaphoclimatic conditions in the microbasin Potrerillo also were evaluated, considering characteristics of: aptitude, potential, limitations or geodynamic risks, through the modeling SIG, by means of the overlapping of thematic maps, which we found: that the ideal rainfalls range between 1600 to 1800 mm/year and it occurs in the average

and high part of the basin, which includes an extension of 570 has; The conditions of temperature are ideal in the unit 2 with an oscillation of 20.3°C to 22°Cse that covers an area of 581.97 ha. Finally one determined that 50.57 % (593.62has) of the area of the microbasin presents the best edaphoclimatics and altitudinals conditions for the production of coffee.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APARICIO, M. 1999. Fundamentos de Hidrología de la Superficie. México DF, México, LIMUSA. 303 p.
- BARREDO, J. 1995. Aplicación de Técnicas de Análisis Espacial Integrando Evaluación Multi-Criterio y Sistemas de Información Geográfica para la Realización de Estudios de Localización. Universidad Alcalá de Henares, Departamento de Geografía. España, 366 p.
- BONIFACIO M. 2000. Manual de Métodos Básicos de Muestreo y Análisis en Ecología Vegetal, Santa Cruz de la Sierra, Bolivia.
- CASTAÑEDA, E. 1997. Manual técnico cafetalero. Edit. Empresa gráfica Libertad S.A. Lima, Perú. 164 p.
- CEPEDA, D. 1991. Química de Suelos. 2° ed. México, Trillas S.A.
- CHANDER, G., MARKHAM, B. 2003. Revised Landsat-5 TM Radiometric Calibration: Procedures and Postcalibration Dynamic Ranges, IEEE Transactions on Geoscience And Remote Sensing. 41 (11). California, Estados Unidos.
- DECRETO SUPREMO N° 017-2009-AG. 2009. Reglamento de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso Mayor. Lima, Perú, El Peruano. 14 – 31 p.

- ESCARRAMÁN, AMADEO; ROMERO, JOSÉ; ALMONTE, ISIDRO; RIBEYRE, FABIENNE; AGUILAR, PHILIP; JIMÉNEZ, HÉCTOR; CAUSSE, ARNAUD; OLIVARES, FRANK; BATISTA, IGNACIO. 2007. Determinación de los atributos de calidad del café en zonas productoras de la República Dominicana. Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (IDIAF) y Consejo Dominicano del Café (CODOCAFE). Santo Domingo, DO. 98 p.
- FELICÍSIMO, A. 1994. Modelos digitales de terreno: Introducción y aplicación en las ciencias ambientales. Sevilla, España. 122 p.
- GLIMS. 2005. Illustrated GLIMS Glacier Classification Manual, Boulder – Colorado, Estados Unidos. 36 p.
- HUERTA, M. 2005. Característica de los suelos tropicales. San José, Costa Rica, IIZA.
- INPOFOS. 1988. Manual de Fertilidad de los Suelos.
- MONGUE, L. 1999. Manejo de la nutrición y fertilización del cultivo del café orgánico en costa rica. En: XI Congreso Nacional Agronómico / III Congreso Nacional de Suelos. pp 175 – 191.
- MUÑOZ, C. s.d. Factores que determinan la calidad del café. En línea: INFOCAFE. [\[www.com/descargas/biblioteca/21pdf.documento18oct.2011\]](http://www.com/descargas/biblioteca/21pdf.documento18oct.2011).

- OFICINA DE ESTUDIOS ECONOMICOS Y ESTADISTICOS AGRARIO (OEEEA). 2010. Producción agrícola, Ed. OA – Minag, Biblioteca Nacional del Perú, Lima, Perú. 264 p.
- PROAMAZONÍA. 2003. Caracterización de zonas cafetaleras del Perú. Biblioteca del Programa para el Desarrollo de la Amazonía, Lima, Perú. 136 p.
- PROGRAMA NACIONAL DE COMPETIVIDAD (PNC). 2010. Guía básica para el manejo ambiental del Cultivo de Café. Costa Rica. 21 p.
- PUSINERI, G., PEDRAZA R., LOZECO, C. 2004. Usos de modelos digitales de elevación y de sistemas de información geográfica en la modelación hidrológica. Universidad Nacional del Litoral. Santa Fe, Argentina. 10 p.
- QUIJANO, J. 2008. Caficultor, sea usted, el doctor de su cafetal. PROCAFE. Perú. 4 p.
- ROA, J., KAMP, U. 2008. Modelos de elevación digital (MED) a partir de sistemas satelitales. Una introducción y análisis comparativo en la cordillera de Mérida-Venezuela. Revista Geográfica Venezolana, 49(1): 11-42.
- SOBRINO, J. 2000. Teledetección. Ed. Servicios de Publicaciones, Universidad de Valencia. Valencia, España. 467 p.
- VALENCIA, M. 2005. Fisiología, nutrición y fertilización del cafeto. Colombia. 10 p.

- ZVALETA, G. 1992. Edafología. El suelo en relación con la producción. Consejo nacional de Concentración y Tecnología. CONCYTEC. Lima, Perú.
- ZEEAM. 2007. Zonificación Ecológica Económica de la Cuenca Alto Mayo. Moyobamba, Perú. 133 p.

ANEXO

Anexo 1. Panel fotográfico



Figura 22. Realizando muestreo de suelo.



Figura 23. Tomando puntos de control.



Figura 24. Verificación del uso actual de tierras.



Figura 25. Estación meteorológica Potrerillo.



Figura 26. Plantaciones de café en plena floración.

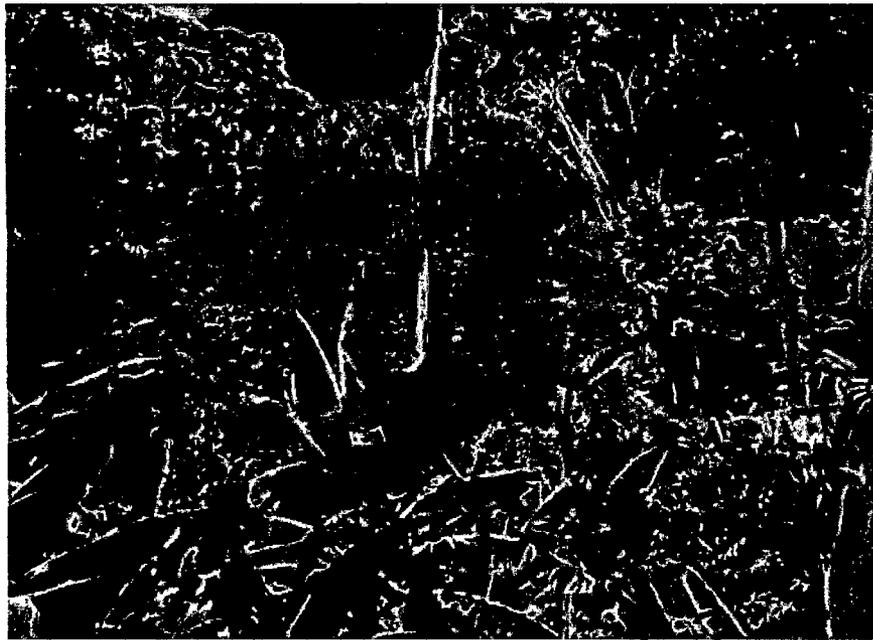


Figura 27. Cafetales instalados en pendientes muy empinados
(mayores a 60%)



Figura 39. Enfermedad presencia de musgos causado por excesivas precipitaciones.



Figura 28. Plantación con presencia de granos vanos.



Figura 29. Frutos con buena densidad de granos.



Figura 30. Encuestando a los agricultores
de la microcuenca Potrerillo.



Figura 31. Validando la información en campo.



Figura 32. Encuestando a los agricultores en campo.