

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES



**DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS
DE LOS SUELOS POR UNIDADES FISIOGRÁFICAS EN LA MICROCUENCA
LAS PAVAS, DISTRITO MARIANO DÁMASO BERAÚN – LAS PALMAS**

Tesis

Para optar el título profesional de:

INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

MENCIÓN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA

PRESENTADO POR:

SOTO RIOS ANA CLAUDIA

2016

DEDICATORIA

A DIOS, por darme la vida,
sabiduría, fortaleza y por su
infinita bondad.

A mí adorada madre BLANCA RIOS
CHÁVEZ, por el amor incondicional que
siempre me ha dado, por sus consejos
oportunos y su ejemplo constante, mi
eterno agradecimiento.

A mi amigo JOE FRANK
GARCÍA ROSALES, por su
verdadera amistad, apoyo y
confianza.

AGRADECIMIENTO

Durante mi formación profesional, personal y elaboración del presente trabajo he recibido el valioso consejo y apoyo incondicional de varias 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 sobre 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 para formar buenos profesionales.

A los miembros de jurado Ing. MS.c. Wilfredo Alva Valdiviezo, Ing. MS.c. Roberto Obregón Peña e Ing. MS.c. Ronald Puerta Tuesta, miembros del jurado calificador del trabajo de investigación.

Al Ing. Juan Pablo Rengifo Trigozo por el apoyo desinteresado como asesor de este trabajo de investigación. Muchas gracias por sus paciencia, confianza y dedicación.

A la familia Rios Chávez; a mis tías Nelly, Eleucy y mi prima Carmen Rios, por el apoyo incondicional.

ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Suelo	3
2.1.1. Propiedades físicas del suelo	3
2.1.1.1. Textura del suelo.....	4
2.1.2. Propiedades químicas del suelo.....	7
2.1.2.1. Reacción del suelo	7
2.1.2.2. Materia orgánica.....	10
2.1.2.3. Capacidad de intercambio catiónico.....	12
2.1.2.4. El fósforo en el suelo	16
2.1.2.5. El potasio en el suelo	16
2.1.2.6. El nitrógeno en el suelo	18
2.2. Estudio de suelo	19
2.2.1. Partes del estudio de suelos	20
2.2.2. Mapa del suelo	20
2.2.3. Unidades de mapeo	20
2.2.4. Levantamiento de suelos.....	20
2.2.5. Muestreo de suelos	21
2.2.6. Tipos de muestreo.....	21

2.2.7. Formas de muestreo	22
2.2.8. Análisis de suelos.....	23
2.2.9. Modelo de mapa.....	23
2.2.10. Modelo digital del terreno (MDT)	23
2.2.11. Fisiografía.....	24
2.3. Mapeo o cartografía digital del suelo	25
2.3.1. Mapa de fertilidad del suelo.....	26
2.3.2. Métodos de interpolación y extrapolación	27
2.4. Distribución espacial	28
III. MATERIALES Y MÉTODOS	31
3.1. Características generales del área de estudio	31
3.1.1. Ubicación.....	31
3.1.2. Clima	31
3.1.3. Cultivo principal	32
3.1.4. Ecología	32
3.1.5. Hidrología	32
3.1.6. Accesibilidad	32
3.2. Materiales y equipos	33
3.3. Metodología.....	33
3.3.1. Fase de campo.....	33
3.3.2. Fase de laboratorio	34

3.3.3. Fase final de gabinete	37
IV. RESULTADOS	40
V. DISCUSIÓN	62
VI. CONCLUSIONES.....	70
VII. RECOMENDACIONES	71
VIII.ABSTRACT	72
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74
ANEXO	80

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro

Página

1. Agrupamiento general de las clases texturales.....	5
2. Niveles de pH del suelo	8
3. Niveles de la materia orgánica.....	12
4. Niveles de la capacidad de intercambio catiónico (pH > 5.5).....	15
5. Niveles de la capacidad de intercambio catiónico (pH < 5.5).....	15
6. Niveles de contenido de fósforo (Método de Olsen)	16
7. Niveles de contenido de potasio	18
8. Niveles de contenido de nitrógeno.	19
9. Indicadores de suelos y métodos de determinación	35
10. Normas para la interpretación de los análisis químicos	36
11. Unidades fisiográficas de la microcuenca “Las Pavas”	40
12. Correlación entre las propiedades del suelo de la microcuenca “LasPavas”..	61
13. Distribución espacial de textura	82
14. Distribución espacial de pH.....	83
15. Distribución espacial de contenido de materia orgánica	84
16. Distribución espacial de contenido de nitrógeno	85

17. Distribución espacial de contenido de fósforo	87
18. Distribución espacial de los suelos con óxido de potasio.....	89
19. Distribución espacial de la CIC	90

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Mapa de ubicación de la microcuenca “Las Pavas”	39
2. Mapa fisiográfico de la microcuenca “Las Pavas”	42
3. Contenido de arena, arcilla y limo presentes por unidades fisiográficas	43
4. Reacción del suelo presentes por unidades fisiográficas	44
5. Contenido de materia orgánica en el suelo por unidades fisiográficas	45
6. Contenido nitrógeno en el suelo por unidades fisiográficas	45
7. Contenido de fósforos presentes por unidades fisiográficas	46
8. Contenido de óxido de potasio K_2O	47
9. Contenido de capacidad de intercambio catiónico (CIC) por unidades fisiográficas	48
10. Contenido de calcio presente por unidades fisiográficas	49
11. Contenido de magnesio presente por unidades fisiográficas	49
12. Mapa de la distribución espacial de la textura en la microcuenca “Las Pavas”	51
13. Mapa de la distribución espacial del pH en la microcuenca “Las Pavas”	52
14. Mapa de la distribución espacial de materia orgánica en la microcuenca “Las Pavas”	54
15. Mapa de la distribución espacial del nitrógeno en la microcuenca “Las Pavas”	55

16. Mapa de la distribución espacial del fósforo en la microcuenca “Las Pavas”	57
17. Mapa de la distribución espacial del óxido de potasio en la microcuenca “Las Pavas”	58
18. Mapa de la distribución espacial de la capacidad del intercambio catiónico en la microcuenca “Las Pavas”	60
19. Muestreo de suelos en la parte alta de la microcuenca "Las Pavas"	92
20. Georeferenciación de la unidad muestral de la microcuenca "Las Pavas"	92
21. Muestreo de suelos en la unidad fisiográfica (colina baja)	93
22. Georeferenciación del punto de muestreo (montaña alta)	93

RESUMEN

En la actualidad en la microcuenca “Las Pavas”, existe una baja producción de los cultivos (cacao, café, plátano, entre otros), debido al desconocimiento de las características de las propiedades del suelo. Para caracterizar e interpretar las propiedades fisicoquímicas de los suelos, se realizó la distribución espacial por unidades fisiográficas. Se realizó el muestreo de suelos en 11 unidades fisiográficas correctamente georreferenciadas para determinar las propiedades fisicoquímicas dentro de la microcuenca y representarla en una distribución espacial a partir del uso del sistema de información geográfica y correlacionar las variables evaluadas. Se caracterizó e interpretó el comportamiento de las propiedades fisicoquímicas de los suelos por unidades fisiográficas, se encontró predominancia de texturas francas y franco arenoso, niveles de pH de fuerte a moderadamente ácido y neutro con un contenido medio a alto de materia orgánica, moderado a alto de nitrógeno, alto de fósforo, alto de calcio, moderado de magnesio y moderado a muy bajo de potasio; se representó cartográficamente en mapas temáticos la distribución espacial por cada variable evaluada. Existiendo una relación inversamente proporcional entre el contenido de arcillas y arena, limo y arena e hidrógeno con pH y sodio; mientras que el nitrógeno con la materia orgánica, hidrógeno con aluminio, calcio con CIC son directamente proporcionales. La representación cartográfica de las propiedades físicas y químicas de los suelos permitió delimitar áreas homogéneas de texturas de suelos, contenidos de nutrientes y niveles de pH presentes en la microcuenca; que genera una fuente información para el adecuado manejo de los suelos.

I. INTRODUCCIÓN

Nuestro país se caracteriza por presentar una gran variabilidad climática lo cual incide en tener también una variabilidad de suelos, por lo que es común que el ser humano este usando de manera inadecuada al suelo debido a la carencia de conocimiento que se tiene respecto a sus características. Por ello; es recomendable previa determinación de la actividad económica que se va a realizar en un terreno conocer las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo a partir del cual se pueda recomendar el tipo de actividad a realizar como por ejemplo agrícola, pastoreo y forestal (VALBUENA *et al.*, 2007).

La utilización del sistema de información geográfica (SIG) en diversas actividades productivas y de investigación, se ha incrementado en los últimos años demostrando ser una herramienta muy útil en la toma de decisiones. En la agricultura tiene gran aplicación para determinar la contaminación de suelo, fertilidad y manejo, entre otras. Uno de los aspectos de mayor utilidad es el estudio de la variabilidad espacial de suelos y la predicción de valores en puntos no muestreados a través del uso de las interpoladores (HENRÍQUEZ *et al.*, 2005).

En la microcuenca “Las Pavas”, en la actualidad, se observa una baja producción de los cultivos (cacao, café, plátano, etc.), donde la calidad de

vida de la población es baja, a pesar de tener una zona muy expansiva no está siendo aprovechada adecuadamente con prácticas agrícolas adecuadas de manejo. En base a esta problemática se plantea la siguiente interrogante ¿la distribución espacial por unidades fisiográficas de algunas propiedades físicas y químicas del suelo permitirá delimitar áreas homogéneas de los nutrientes del suelo? Como hipótesis se plantea, la representación cartográfica de la distribución espacial de las propiedades físicas químicas del suelo permite delimitar áreas homogéneas de los nutrientes del suelo en toda el área de la microcuenca “Las Pavas”. Por lo que se plantea los siguientes objetivos.

Objetivo general:

- Determinar la distribución espacial de las propiedades fisicoquímicas de los suelos por unidades fisiográficas en la microcuenca “Las Pavas”, distrito Mariano Dámaso Beraún – Las Palmas.

Objetivos específicos:

- Caracterizar e interpretar las propiedades físicas y químicas de los suelos por unidades fisiográficas en la microcuenca “Las Pavas”.
- Representar cartográficamente la distribución espacial de las propiedades físicas y químicas de los suelos por unidades fisiográficas en la microcuenca “Las Pavas”.
- Correlacionar las propiedades fisicoquímicas de los suelos de la microcuenca “Las Pavas” distrito Mariano Dámaso Beraún – Las Palmas.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Suelo

KARLEN *et al.* (1997) manifiesta que el suelo constituye un sistema complejo que consiste en proporciones variables de cuatro componentes; son estos: el mineral o partículas de roca y la materia orgánica muerta que constituye la matriz sólida, y la disolución del suelo y el aire que ocupan el espacio poroso dentro de esa matriz. Asimismo, Es un sistema dinámico y complejo en el que ocurren fenómenos físicos, químicos y biológicos de intensidad variable, se extiende como un manto continuo sobre la superficie de la corteza terrestre (MINAG, 2011).

La variabilidad de las propiedades del suelo es una condición inherente al mismo, debido a que en su formación intervienen varios procesos diferentes que, a su vez, están controlados por los factores de formación (clima, material parental, organismos, relieve y tiempo). Estas interacciones pueden ser muy variadas dando como consecuencia una alta cantidad de suelos posibles (JARAMILLO, 2012).

2.1.1. Propiedades físicas del suelo

Existe una variedad de indicadores físicos de la calidad del suelo, éstos varían de acuerdo a las características predominantes del lugar en estudio.

CHEN (2000) recomienda como indicadores la textura, profundidad, tasa de infiltración de agua del suelo, densidad aparente, y capacidad de retención de agua. DORAN y LINCOLN (1999) recomiendan como indicadores la textura, estructura, densidad aparente, espesor del horizonte superior, estabilidad de agregados, temperatura e infiltración.

Brejeda y Moorman (2001), citado por ACEBEDO *et al.* (2005) sugirió que la textura del suelo se relaciona con la porosidad, infiltración y disponibilidad de agua; la densidad aparente, relacionada con la tasa de infiltración y conductividad hidráulica; y la estabilidad de agregados, que se relaciona con la resistencia a la erosión y contenido de materia orgánica.

2.1.1.1. Textura del suelo

Se refiere la proporción de arena, limo y arcilla expresados en porcentaje (SÁNCHEZ, 2007). Asimismo, es la distribución de fracciones de arena, limo y arcilla contenidas en el suelo; excluye a partículas minerales más grandes que la arena (2 mm de diámetro), las cuales son consideradas como modificadores texturales recibiendo las siguientes denominaciones: grava (0.2 – 2 cm), gravilla (2 – 5 cm), guijarros (15 – 25 cm), rodador (25 – 50 cm) y los bloque (+ 50 cm); son considerados dentro de este grupo a los agregados estables por efecto de materia orgánica (ZVALETA, 1992).

2.1.1.2. Clase textural

Las clases texturales se basan en las diferentes combinaciones de arena limo y arcilla, por consiguiente, estas combinaciones son casi infinitas.

No obstante, se han fijado solo doce clases texturales básicas; que se enumeran en orden de incremento de la fracción fina; y en relación al suelo se denominan: (ZAVALETA, 1992). Asimismo, cuando las cantidades relativas del separado menos dominante varían, también varía la clase textural y el nombre refleja el cambio de composición (DONAHUE *et al.*, 1981).

Cuadro 1. Agrupamiento general de las clases texturales.

Grupo textural	Denominación empírica	Clases Textural
Arenoso	Suelos de textura gruesa	Arenas
		Arenas Franca
Franco	Suelo de textura moderadamente gruesa	Franco Arenoso
		Franco Arenoso fino
		Franco Arenoso muy fino
	suelos de textura media	Franco
		Franco Limoso
		Limoso
Arcilloso	suelos de textura moderadamente fina	Franco Arcilloso
		Franco Arcillo Arenoso
		Franco Arcillo Limoso
	suelos de textura fina	Arcillo-Arenoso
		Arcillo-Limoso
		Arcilloso

SERRADA (2008) indica que la abundancia de limo favorece la presencia de microporos a través de los cuales el agua no drena al quedar retenida por fuerzas de capilaridad. La riqueza en arcilla, sobre todo si el suelo es pobre en materia orgánica, favorece la compactación debido al carácter aglomerante de los materiales arcillosos, y tanto más si el suelo tiene una alta pedregosidad.

2.1.1.3. Características de los suelos según el grupo textural.

- **Los suelos arenosos.**

Se denominan suelos sueltos. Se caracterizan por tener una elevada permeabilidad al agua y por tanto una escasa retención de agua y de nutrientes (ZAVALETA, 1992).

VELÁSQUEZ *et al.* (2004) elaboró los mapas de distribución de las propiedades de suelos y observó que la distribución de la arena tiende a ser uniforme, de acuerdo con tipo de material (granito) y el bajo grado de evolución de los suelos, de acuerdo con las bajas temperaturas y bajas precipitaciones del sector.

- **Los suelos arcillosos**

Se denominan suelos pesados o fuertes. Presentan baja permeabilidad al agua y elevada retención de agua y de nutrientes (ZAVALETA, 1992).

- **La textura franca**

Se considera la textura ideal, porque tiene una mezcla equilibra de

arena, limo y arcilla. Esto supone un equilibrio entre permeabilidad al agua y retención de agua y de nutrientes (ZAVALETA, 1992).

2.1.2. Propiedades químicas del suelo

La composición química del suelo incluye la medida de la reacción de un suelo (pH) y de sus elementos químicos (nutrientes). Su análisis es necesario para una mejor gestión de la fertilización del cultivo, elegir las plantas más adecuadas y obtener los mejores rendimientos de cosecha (ACEBEDO, 2005).

2.1.2.1. Reacción del suelo

La reacción del suelo es quizás la propiedad química más importante de un suelo, como medio destinado al cultivo de plantas, la cual se expresa en términos de pH. Este efecto más que nada es en forma indirecta, ya que influye en forma decisiva en la disponibilidad de la mayoría de nutrientes, en las propiedades químicas, y biológicas del suelo (FASSBENDER, 1987).

La acidez es característica de suelos localizados en regiones de alta pluviometría, los cuales están sometidos a un continuo y amplio lavado. Debido a ello, el agua disuelve las bases solubles, que percolan y se pierden por lixiviación en proporciones considerables. El continuo lavado va provocando acidez que vienen incrementando al mismo tiempo por la segregación de las raíces y por los compuestos ácidos que se originan en la descomposición de la materia orgánica. Todas estas circunstancias dan lugar a que el complejo coloidal del suelo fije gran cantidad de H^+ . Y como este

hidrógeno al producirse su disociación, tiende a estar en equilibrio dinámico con la disolución del suelo, esta se enriquece en H^+ y el pH desciende (NAVARRO, 2003).

2.1.2.1.1. Escala del pH

La escala de pH se establece en una recta numérica que va desde el 0 hasta el 14. El número 7 corresponde a las soluciones neutras. El sector izquierdo de la recta numérica indica acidez, que va aumentando en intensidad cuando más lejos se está del 7. Pero en los suelos se han encontrado valores entre 3.5 y 10, el Cuadro 2, muestra algunas inferencias generales y los valores de pH; pero el grado de acidez y alcalinidad han sido sensiblemente modificados acorde con aquellas inferencias por su significado en el manejo de los suelos (ZAVALETA, 1992).

Cuadro 2. Niveles de pH del suelo

Descripción	Rango
Extremadamente ácido	Menor de 4.5
Fuertemente ácido	4.6-5.4
Moderadamente ácido	5.5-6.5
Neutro	6.6-7.3
Moderadamente alcalino	7.4-8.5
Fuertemente alcalino	Mayor de 8.5

Fuente: Laboratorio análisis de suelos de la UNAS

2.1.2.1.2. Factores que afectan el pH

Cuando se diluye una suspensión de suelo, es decir, cuando se incrementa la cantidad de agua con relación al suelo, el pH se incrementa. La relación suelo/agua más aceptada es 1:1 (GUERRERO, 2000).

ROMERO *et al.* (2004) determinaron la variación de pH y la existencia de un comportamiento respecto a la altitud, agregando además la relación de este parámetro con las características mineralógicas de los materiales geológicos que originaron los suelos estudiados; Asimismo, SÁNCHEZ *et al.* (2005) encontraron que el valor de pH más alto se observó en el suelo de Sabana, ubicado en la zona de menor altitud.

Respecto a la distribución del pH VELÁSQUEZ *et al.* (2004) al contrastar con el mapa topográfico y modelo de elevación generado, determinaron que los suelos menos ácidos se distribuyen en las posiciones medias y bajas, mientras que los suelos más ácidos se encuentran en la parte más alta.

2.1.2.1.3. Causas de acidez

Los suelos relativamente jóvenes (aquellos que no han sido expuestos a los largos períodos de meteorización y lixiviación) comparten el pH de sus materiales originales. Los materiales originales ácidos incluyen granito, arenisca y esquistos, mientras los suelos que se han desarrollado a partir de materiales originales calcáreos como la caliza, cuando son jóvenes estos suelos suelen ser entre neutros y alcalinos (PLASTER, 2000).

El pH de la mayoría de los suelos está controlada por la percolación (o por la falta de percolación) de agua ácida. Esta percolación de agua lixivia fuera bases y las reemplaza en los sitios de intercambio con iones de hidrógeno y calcio. Este tipo de percolación se produce en climas húmedos, donde la precipitación excede a la evapotranspiración.

Varios procesos producen iones de hidrógeno que hacen el suelo más ácido. Algunos procesos ocurren naturalmente y otros son el resultado de actividades humanas. Un proceso natural principal que contribuye a la acidez del suelo es la respiración de las raíces de la planta y otros organismos del suelo. Durante la respiración los organismos sueltan dióxido de carbono que reacciona con el agua para producir ácido carbónico. A su vez, el ácido carbónico se descompone para descargar iones de hidrógeno. De esta manera tanto el crecimiento de la planta como la descomposición de la materia orgánica producen los iones de hidrógeno (PLASTER, 2000).

2.1.2.2. Materia orgánica

Los autores denominan indistintamente materia orgánica o humus a la parte orgánica que cumple un papel esencial en el suelo. No existe una definición de humus con la que todos los especialistas estén de acuerdo; pero, en general, el término humus designa a las “sustancias orgánicas variadas, de color pardo y negruzco, que resultan de la descomposición de materias orgánicas de origen exclusivamente vegetal”. Contiene aproximadamente un 5% de nitrógeno, por lo que su valor en el suelo se puede calcular multiplicando por 20 su contenido de nitrógeno total (NAVARRO, 2003).

2.1.2.2.1. Niveles de materia orgánica

Se ha demostrado que el contenido de materia orgánica es muy variado. Por consiguiente, el mismo valor numérico tendría significado a nivel regional. Así, mientras en un valle aluvial de la costa un 2% es alto este mismo valor en la sierra sería bajo y en la amazonia baja sería este valor medio. De allí que los niveles de bajo, medio alto y muy alto deben ser juzgados a nivel regional y de acuerdo a las necesidades de un cultivo determinado (ZVALETA, 1992).

SÁNCHEZ *et al.* (2005) determinó que carbono orgánico total (COT) varió entre 0,88% y 2,52%, la fracción del carbono extraíble con álcali presentó valores entre 20 y 43% del COT, asociada mayormente a los ácidos húmicos. Los valores de la respiración basal variaron entre 0,57 y 4,11 $\mu\text{g C-CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$, el contenido microbiano arrojó valores entre 576 y 1.395 $\mu\text{g Cmic g}^{-1}$, los mayores valores de carbono orgánico (CO), contenido microbiano y respiración basal se observaron en la zona más elevada y los menores, en la zona intermedia ($P < 0,05$) y el contenido y composición de la MO, así como la actividad microbiológica, están influenciados por la altitud, la cual está asociada a diferencias en la vegetación, temperatura, humedad, precipitaciones y características de estos suelos.

2.1.2.2.2. Contenido y distribución de la materia orgánica en los suelos

El contenido de materia orgánica en los suelos es muy variable y está condicionado en primera instancia por el clima y la vegetación y

localmente se ve determinado por la fisiografía, la naturaleza del material madre que genera el suelo y el sistema de manejo. ZAVALETA (1992) demostró la distribución del carbono orgánico en una secuencia entre Lima y Ticlio, donde se nota un incremento en, materia orgánica con la altitud con lo que está relacionada con el incremento en precipitación al mismo tiempo con disminución de la temperatura. En las mayores elevaciones las temperaturas son más bajas, lo que retarda la descomposición de la materia orgánica, originando una mayor concentración por falta de mineralización

Cuadro 3. Niveles de la materia orgánica

Nivel	Contenido (%)
Bajo o pobre	menos de 2
Medio	2 – 4
Alto	mayor de 4

Fuente: SOIL SURVEY STAFF (1993)

2.1.2.3. Capacidad de intercambio catiónico

Es la suma de todos los cationes de cambio (H^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , k^+ , Na^+ , etc.) constituye la capacidad total de cambio (CTC) de un suelo. Un suelo con mayor CIC tiene mayor capacidad de almacenamiento y de nutrientes para los cultivos (GUERRERO, 2000).

La capacidad de intercambio catiónico, es una de las características más importantes de un suelo, ya que ésta es la capacidad del

suelo de retener cationes cargados positivamente y se debe a que el suelo (complejo coloidal) presenta cargas negativas. Existe una correlación entre la textura y la capacidad de cambio, aumentando ésta para los suelos de textura fina y disminuyendo para suelos de textura gruesa ya que las arenas y margas arenosas son pobres en arcilla coloidal y casi siempre deficientes como también en humus (FASSBENDER, 1987).

2.1.2.3.1. Capacidad de intercambio catiónico en los suelos

Los cationes de mayor importancia con relación al crecimiento de las plantas son el calcio (Ca), magnesio (Mg), potasio (K), amonio (NH_4^+), sodio (Na) e hidrógeno (H). Los primeros cuatro son nutrientes y se encuentran involucrados directamente con el crecimiento de las plantas. El sodio y el hidrógeno tienen un pronunciado efecto en la disponibilidad de los nutrientes y la humedad. En los suelos ácidos, una gran parte de los cationes son hidrógeno y aluminio en diversas formas.

También contribuyen a la CIC las clases, cantidades y combinaciones de los minerales arcillosos y las cantidades de materia orgánica y su estado de descomposición. Los cationes no son retenidos con las mismas energías de enlace. Los sitios de intercambio de la materia orgánica, solo enlazan en forma débil a los cationes. Las arcillas con gran capacidad de intercambio tienden a enlazar los cationes bivalentes como el Ca^{2+} y el Mg^{2+} , con más energía que el K^+ . Esta característica puede afectar la disponibilidad de los nutrientes. Los suelos con arcillas caoliníticas tienen una menor energía

de enlace y, por lo tanto, para un nivel analítico determinado o un porcentaje de saturación de un elemento se mostrara una disponibilidad relativa mayor. Si la CIC está neutralizada principalmente por calcio, magnesio, potasio y sodio, se dice que está saturada de bases. Sin embargo, si los cultivos o el lixiviado han removido la mayor parte de los cationes básicos, el suelo está bajo saturación de bases o alto en saturación ácida. Las cantidades totales de cationes ácidos relativas a la CIC son una medida de la saturación ácida. Ésta también es una medida de las necesidades de encalado de un suelo (CEPEDA, 1991).

2.1.2.3.2. Factores de CIC

Los factores que hacen que un suelo tenga una determinada capacidad de cambio de cationes son varios, entre ellos: tamaño de las partículas. Cuanto más pequeña sea la partícula, más grande será la capacidad de cambio; tipo de cationes cambiables (monovalentes, divalentes, de gran tamaño, etc.) y el pH.

Los cationes que frecuentemente ocupan las posiciones de cambio en los suelos son: Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , H^+ , Al^{3+} , Fe^{3+} , Fe^{2+} , NH_4^+ , Mn^{2+} , Cu^{2+} y Zn^{2+} . En los suelo ácidos predominan H^+ y Al^{3+} , en los suelos alcalinos predominan las bases, fundamentalmente el Na^+ y en los neutros el Ca^{2+} . Todos los cationes adsorbidos excepto los protones y aluminio, que constituyen la llamada acidez de reserva, se consideran bases. El porcentaje de saturación de bases expresa la proporción de bases que hay respecto del total de la capacidad de intercambio de cationes (CIC).

2.1.2.3.3. Importancia de la capacidad de cambio

- Controla la disponibilidad de nutrientes para las plantas: K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , entre otros.
- Interviene en los procesos de floculación - dispersión de arcilla y por consiguiente en el desarrollo de la estructura y estabilidad de los agregados.
- Determina el papel del suelo como depurador natural al permitir la retención de elementos contaminantes incorporados al suelo (SOIL SURVEY STAFF, 1993).

Cuadro 4. Niveles de la capacidad de intercambio catiónico (pH > 5.5)

Nivel	CIC (meq/100 g de suelo)
Bajo	menos de 12
Medio	12 – 20
Alto	mayor de 20

Fuente: SOIL SURVEY STAFF (1993)

Cuadro 5. Niveles de la capacidad de intercambio catiónico (pH < 5.5)

Nivel	CIC (meq/100 g de suelo)
Bajo	menor de 4
Medio	10 – 20
Alto	mayor de 30

Fuente: SOIL SURVEY STAFF (1993)

2.1.2.4. El fósforo en el suelo

Este elemento procede solo de la descomposición de la roca madre durante el proceso de meteorización. La cantidad de fósforo total en el suelo, expresada como P_2O_5 , raramente sobrepasa el valor de 0.5 % (1500 ppm ó 3360 Kg/ha). El fósforo, luego del nitrógeno, es el macronutrientes que en mayor medida limita el rendimiento de los cultivos. Interviene en numerosos procesos bioquímicos a nivel celular y se lo considera un nutriente esencial para las plantas. La única entrada al sistema proviene del agregado de fertilizantes fosfatados, mientras que las salidas pueden dar por extracción en los granos cosechados, erosión, escurrimiento y lixiviación (de escasa importancia) (NAVARRO, 2003).

Cuadro 6. Niveles de contenido de fósforo (Método de Olsen)

Nivel	Fósforo (ppm)
Muy Bajo	< 5
Bajo	5.1 – 15
Normal	15.1 – 30
Alto	30.1 – 40

Fuente: SOIL SURVEY STAFF (1993)

2.1.2.5. El potasio en el suelo

Este elemento procede de la desintegración y descomposición de las rocas que contienen minerales potásicos, junto a estos hay que añadir

aquellos provenientes de la descomposición de restos vegetales y animales (NAVARRO, 2003).

Dos fuentes adicionales de K están dadas por los fertilizantes potásicos y por los residuos vegetales, los que por disolución y mineralización, respectivamente, incorporan K a la solución del suelo, o es fijado en parte por los coloides (SANZANO, 2001).

El potasio en el suelo se halla en la mayoría de los suelos en cantidades relativamente grandes. Su contenido (como K_2O) varía de 0.5% a 3%, y depende de su textura. La fracción arcillosa presenta un contenido mayor, por lo que los suelos es un elemento nutritivo esencial para todos los organismos vivos. Los vegetales necesitan cantidades elevadas de este nutriente siendo semejantes al requerimiento de nitrógeno (NAVARRO, 2003).

Durante el invierno el K liberado en la meteorización supera en cantidad al que absorben las plantas, por lo tanto, el K intercambiable aumenta. Durante el período de verano, las plantas pueden absorber K del suelo con más rapidez, lo que disminuye el contenido de la forma asimilable. Por lo tanto, se pueden encontrar grandes variaciones estacionales en la cantidad de K disponible (SANZANO, 2001).

El óxido de potasio cumple un rol importante en la activación de un gran número de enzimas (conociéndose más de 60 activadas por este catión), que actúan en diversos procesos metabólicos tales como fotosíntesis, síntesis de proteínas y carbohidratos; también tiene incidencia en el balance de agua y en el crecimiento meristemático. Al participar de estos procesos metabólicos el

K actúa favoreciendo el crecimiento vegetativo, la fructificación, la maduración y la calidad de los frutos (NAVARRO, 2003).

El calcio y el magnesio presentan un claro efecto antagónico frente al potasio que puede dar lugar a situaciones de deficiencia potásica por excesos de calcio activo o de magnesio asimilable. Con el sodio pueden darse situaciones de sustitución. En casos de deficiencia potásica, la planta puede absorber sodio, pero esta sustitución sólo resulta efectiva en el aspecto físico químico de ambos cationes, pero no en los aspectos fisiológicos (NAVARRO, 2003).

Cuadro 7. Niveles de contenido de potasio

Nivel	Potasio Kg/ha
Muy Bajo	menos de 300
Medio	300 – 600
Alto	más de 600

Fuente: SOIL SURVEY STAFF (1993)

2.1.2.6. El nitrógeno en el suelo

La fuente principal de N es la atmósfera, donde es el gas predominante. Este N atmosférico se hace disponible para las plantas a través del proceso de fijación biológica efectuada por ciertos microorganismos. La mayor parte del nitrógeno presente en los suelos minerales se encuentra por tanto formando parte de la materia orgánica que en el suelo se deposita a la

muerte de los microorganismos y de las plantas que ellos se benefician. En esta forma el nitrógeno no es aprovechable por la planta. El nitrógeno varía más en cantidad en el suelo que otros elementos esenciales para el desarrollo vegetal, también absorbidos en el suelo (NAVARRO, 2003).

La cantidad de nitrógeno presente en muchos suelos es escasa, debido a su propia dinámica y a su ciclo biogeoquímico. El nitrógeno puede llegar al suelo gracias a los aportes de materia orgánica y a la fijación bacteriana a partir del aire. Dentro del suelo es aprovechado por las plantas, animales y microorganismos que lo incorporan a sus tejidos (FERNÁNDEZ, 2006).

Cuadro 8. Niveles de contenido de nitrógeno.

Nivel	Nitrógeno (%)
Bajo	< 0.1
Medio	0.1 – 0.2
Alto	> de 0.2

Fuente: SOIL SURVEY STAFF (1993)

2.2. Estudio de suelo

Es el proceso orientado al conocimiento del suelo, esto implica colección de información del suelo con dos principales objetivos: uno es mostrar la distribución espacial de los suelos sobre un mapa; y dos es proveer información acerca de los suelos en el área mapeada, tecnificando la planificación del uso de la tierra. En el Perú no existe una metodología propia,

se ha adaptado los lineamientos del manual de levantamiento de suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos y la Metodología de la FAO (CEPEDA, 1991).

2.2.1. Partes del estudio de suelos

Un estudio normalmente tiene cuatro partes: un mapa, una leyenda del mapa, la descripción de los suelos del área estudiada y el informe sobre uso y manejo de los suelos. En su conjunto la información, guía hacia el uso eficiente de la tierra, ya que hace conocer las capacidades, limitaciones, adaptaciones de cultivos, rendimientos potenciales, erodibilidad y estatus nutricional (CEPEDA, 1991).

2.2.2. Mapa del suelo

El mapa de suelo muestra las unidades de mapeo en relación a las características prominentes físicas y culturales de la superficie de la tierra. Se reconocen las siguientes clases de mapas de suelos: mapa detallado, mapa de reconocimiento, mapa generalizado, mapa esquemático.

2.2.3. Unidades de mapeo

Son áreas individuales, identificadas en los mapas de suelos. La información que se obtenga de las unidades, depende de la intensidad de los estudios (CEPEDA, 1991).

2.2.4. Levantamiento de suelos

Consiste en el estudio, clasificación y delimitación cartográfica de los suelos de una zona, con el propósito ulterior de su utilización o

aprovechamiento económico. Esto incluye el examen y clasificación de los suelos en el terreno descripción morfológica y ubicación de los límites en un mapa y finalmente la interpretación de las unidades en estudio.

2.2.5. Muestreo de suelos

Es una práctica muy delicada porque de él dependerá el éxito del análisis, si la muestra ha sido mal tomada de nada servirán las mejores técnicas o instrumentos de laboratorio. La toma de muestras debe tener en cuenta las variaciones de los suelos de acuerdo a la profundidad del perfil y el área del terreno. La vista de la variabilidad del suelo, parece imposible establecer un método completamente satisfactorio para la toma de muestras de tal forma que los detalles del procedimiento deben quedar determinados por el propósito y finalidad con que se toma la muestra otro puntos también para obtener un correcto análisis de suelo son el manipuleo (manejo) a cargo del técnico del laboratorio, el uso adecuado correcto de los instrumentos y de los reactivos, etc. (FORSYTHE, 1975).

2.2.6. Tipos de muestreo

- **Muestreo del perfil del suelo.** Consiste en la toma de muestra de cada horizonte hasta la sección de control. Las muestras servirán: para la clasificación taxonómica, cartografía de suelos y para estudios de fertilidad potencial.
- **Muestreo superficial del suelo.** Consiste en la toma de muestras de la capa arable, que es generalmente alrededor de las 20 a 30 cm.

Este muestreo se realiza con fines de diagnóstico de la fertilidad actual, para establecer programas de fertilización.

2.2.7. Formas de muestreo

Los suelos varían tanto horizontalmente (superficie), como verticalmente (profundidad), por tanto al hacer el muestreo es necesario que se incluya todo el rango de variabilidad de tal manera que la heterogeneidad del suelo, sea reducida al máximo y obtener al final un resultado promedio de análisis. Para ello la muestra debe ser una muestra compuesta. La cual se encuentra formada por a 20 a 30 sub muestras o muestras individuales tomadas de diferentes puntos de cada área delimitada hacer reconocimiento del terreno y al iniciar el muestreo debe limpiarse la superficie del terreno para evitar posibles contaminaciones. No deben mezclarse muestras de diferentes lotes. No se debe tomar muestras de los siguientes lugares: al pie de zanjas, lugares de acumulación de materiales vegetales, lugares donde haya habido quemas, zonas pantanosas o de acumulación de sales.

Las muestras individuales deben cumplir lo siguiente: Cada muestra individual debe ser el mismo volumen, si se utiliza una pala se hace primero un hoyo en forma de “V” o rectangular removiendo de un lado una capa de tierra de 3 cm de grueso tomando la muestra, las muestras deben ser tomadas al azar con respecto al volumen teniendo un número suficiente de muestras individuales para que quede representado adecuadamente el volumen total del que se toma la muestra. El área de terreno escogido para

muestrear debe ser homogéneo para el objetivo del análisis y así tener una mayor exactitud (AZABACHE, 1991).

2.2.8. Análisis de suelos

Es el proceso que tiene por finalidad, entre otras, evaluar la fertilidad del suelo por medios de métodos analíticos físicos y/o químicos. El procedimiento consiste en extraer un constituyente del suelo. Fenómeno dependiente de la constitución de este último, para ponerlo en una forma tal que puede ser determinado por las técnicas analíticas propias del método. (FORSYTHE, 1975).

2.2.9. Modelo de mapa

Modelo se define como una representación simplificada de la realidad en la que aparecen algunas de sus propiedades. De esta definición se deduce que la versión de la realidad que se realiza a través de un modelo que pretende reproducir solamente algunas propiedades del objeto o sistema original y, por lo tanto, se ve representado por otro objeto de menor complejidad Joly, (1988), citado por FELICÍSIMO (1994).

2.2.10. Modelo digital del terreno (MDT)

El modelo digital del terreno es una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de una variable cuantitativa y continua (FELICÍSIMO, 1994).

2.2.11. Fisiografía

Es el estudio de las formas de tierra llamadas también “paisajes” y clasifica a esta en base a su morfología, origen, edad y morfometría, aspectos de clima actual, hidrología, geología, etc. Estos factores son considerados en la medida que puedan incidir en la pedogénesis o aptitudes de uso y manejo de suelos, los cuales se clasifican en:

- **Gran paisaje:** Está determinada por el relieve de la corteza terrestre; estableciéndose tres grandes paisajes: Planicie, Colinoso y Montañoso.
- **Paisaje:** Está determinado por la litología y origen de la forma de tierra.
- **Sub paisaje:** Son subdivisiones del paisaje que han sido originados por procesos erosionales o deposicionales.
- **Elemento de paisaje:** Son subdivisiones establecidas de acuerdo al criterio a utilizarse para el estudio del suelo. Siendo algunos criterios más utilizados: Pendiente, drenaje, disección, inundabilidad, etc. (GARCIA, 1987).

Cada suelo por lo general está asociado a un cierto tipo o forma de paisaje, y se vincula directamente a una forma de relieve, lo cual influye sobre su génesis. Sin embargo, diferencias importantes en el material originario y en el perfil, son consecuencia de diferentes posiciones en el relieve, o de diversas formas del paisaje general (RODRIGUEZ, 1984).

2.3. Mapeo o cartografía digital del suelo

La información que genera un estudio del recurso suelo es esencial para el manejo de los demás componentes del sistema tierra y de manera específica para la planificación del uso de la tierra. El estudio del recurso suelo siempre fue de primera necesidad y diversas culturas han desarrollado sus métodos de estudio de acuerdo a sus objetivos específicos, principalmente con fines agrícolas. Varios enfoques han sido utilizados para generar información de suelos, el principal corresponde al “método convencional” que se basa en generar un modelo mental de la relación suelo-paisaje y correlacionar con los demás factores formadores del suelo (VARGAS, 2009).

En el ámbito mundial, el estudio del recurso suelo, hasta nuestros días, ha usado predominantemente el “método convencional”, el cual sigue el modelo discreto de variabilidad espacial. Como el grupo WILDING (1983) lo indica, para realizar un levantamiento de suelos convencional, el edafólogo o pedólogo primero debe construir un modelo mental subjetivo de la relación suelo-paisaje y analizarlo a través de un trabajo de campo intensivo. Tradicionalmente, la distribución espacial de las unidades suelo-paisaje es identificada y delineada a través de la foto-interpretación. Este enfoque genera los clásicos mapas de suelo tipo “área-clase-polígono”, que constituyen la principal fuente de información en la distribución espacial de las propiedades edáficas.

Desde la década de los 90, en el ámbito mundial y, sobre todo en los países desarrollados investigadores de la ciencia del suelo, se han venido

desarrollando técnicas modernas para el levantamiento y mapeo de suelos basadas, principalmente, en el modelo continuo de variación espacial (CMSV). Considerando al suelo como un continuum, su estudio considera que éste se encuentra ampliamente distribuido en la superficie terrestre, por tanto ya no es necesario discretizar o estratificar el suelo-paisaje (no más polígonos) ya que su variabilidad es gradual, por tanto siempre hablamos del tipo de suelo presente y sus propiedades, salvo casos excepcionales como lagunas, afloramientos rocosos, etc. La variabilidad espacial del variable contenido de MO, se reduce espacialmente al polígono que representa el mapa de tipo de suelos, sin interesar la variabilidad real dentro el polígono.

Este enfoque, como lo menciona ROSSITER (2005), se basa sólo en los datos y desarrolla modelos geo estadísticos que después pueden ser aplicados para predecir las propiedades de los suelos en lugares que no fueron visitados en el muestreo. Éste ha sido desarrollado en una propuesta comprensible con ejemplos preliminares por McBRATNEY *et al.* (2003). La geo estadística: se define como una ciencia aplicada que estudia las variables distribuidas espacialmente, partiendo de una muestra representativa del fenómeno en estudio (VALBUENA *et al.*, 2007). Se basa en el hecho de que los datos se correlacionan espacialmente, es decir, un dato se relaciona con otros cercanos, pero a medida que se alejan del mismo, la dependencia espacial disminuye (CRESSIE, 1991).

2.3.1. Mapa de fertilidad del suelo

La fertilidad del suelo es una cualidad resultante de la interpretación entre las características físicas, químicas y biológicas del suelo y

consiste en la capacidad de poder suministrar condiciones necesarias para el crecimiento y desarrollo de las plantas; se deben tomar en cuenta los siguientes elementos para determinar la fertilidad de los suelos: pH, CIC, materia orgánica, nitrógeno total y fósforo disponible (SÁNCHEZ, 1981).

2.3.2. Métodos de interpolación y extrapolación

Como alternativa a los problemas generados por los métodos anteriores se ha recurrido a la interpolación. La definición de umbrales de representación, muy frecuente, sirve para la definición de isolíneas, o líneas imaginarias, en las que la variable toma un valor continuo, marcado de forma subjetiva, que suele definir los umbrales a partir de los puntos más significativos.

Este hecho lejos de ser una pérdida de calidad cartográfica se ha convertido en un gran aliado a la hora de transmitir la información. Los métodos de interpolación presentan diversas características y peculiaridades (media aritmética, red irregular de triangulación (TIN), interpolación ponderada por el inverso a la distancia (IDW), método modificado de shepard, curvatura mínima (Spline), polígonos de Thiessen, Kriging (ACHUY, 2006).

2.3.2.1. Spline

El método de los splines ajusta funciones polinómicas en las que las variables independientes son X e Y. Es similar a una interpolación global mediante regresión, pero ahora esta interpolación se lleva a cabo localmente. En general producen resultados muy buenos con la ventaja de poder modificar

una serie de parámetros en función del tipo de distribución espacial de la variable (ALONSO, s/d).

En ArcGIS, la interpolación spline es una función de base radial (RBF). Estas funciones permiten a los analistas decidir entre las curvas lisas o bordes rectos estrechos entre los puntos medidos. Una de la ventajas de las funciones splining son que pueden generar superficies suficientemente precisos a partir de sólo unos pocos puntos muestreados y conservan características pequeñas. Una desventaja es que pueden tener diferentes valores mínimo y máximo que el conjunto de datos y las funciones son sensibles a los valores típicos debido a la inclusión de los valores de datos originales en los puntos de muestra (MOOKKEN, 2011).

2.4. Distribución espacial

La distribución espacial depende de factores de diversas índoles que abarcan escalas espaciales y temporales muy distintas, desde las globales hasta las locales. La evaluación del estado actual del recurso edáfico en una región y/o área de estudio, implica la distribución espacial de una o varias características, lo cual se realiza con base en el muestreo de campo y procedimientos de interpolación geográfica para generar imágenes y/o mapas temáticos (AGUILAR et al., 2002).

Para el estudio de la variabilidad espacial de las propiedades del suelo se ha acudido con frecuencia al uso de análisis geo estadísticos (GOOVAERTS, 1999). Estas técnicas se han empleado para el mejoramiento de los levantamientos de suelos (WEBSTER, 1985), el estudio de la génesis de

los suelos y de pureza de unidades de mapeo (WILDING y DREES, 1983) y en la determinación de la degradación de los suelos (HENRÍQUEZ, 2005). La geoestadística trata con variables medidas en una región con continuidad espacial, se fundamenta en el estudio de la auto correlación espacial, es decir, asume que las observaciones de dos sitios serán más similares en la medida en que estos datos sean más cercanos a otra información (CRESSIE, 1991).

La variabilidad espacial de las propiedades físicas del suelo dentro de los campos agrícolas es inherente a la naturaleza geológica de la formación de suelo, pero en algunos casos la variabilidad puede ser inducida por la labranza y otras prácticas de manejo. Estos factores interactúan unos con otros a través de escalas espaciales y temporales, y se modificarán una vez más a nivel local por los procesos de erosión y deposición (IQBAL *et al.*, 2005).

VÁSQUEZ *et al.* (2010) evaluaron la variabilidad espacial de propiedades físicas y químicas en suelos de la granja experimental de la Universidad del Magdalena (Santa Marta, Colombia) para ello se analizaron los datos empleando enfoques univariado, geoestadístico y multivariado. El análisis estadístico de los resultados mostró gran variabilidad de las propiedades; la densidad aparente y el pH presentaron baja variación; los componentes texturales, la resistencia a la penetración (RP), Ca^{+2} , Mg^{+2} , Cu y B mostraron variación media, mientras que la humedad gravimétrica, MO, K^{+} , Na^{+} , ClC, Zn, P, Mn y Fe, expresaron alta variación. Con el análisis geoestadístico se visualizó y graficó la variabilidad de cada propiedad evaluada y se evidenció la existencia de moderada dependencia espacial en las

propiedades excepto en los contenidos de arena, Ca^{+2} , CIC, P y Cu que revelan fuerte dependencia espacial. El índice de homogeneidad multivariado para los suelos en estudio fue bajo, siendo textura, Na^+ , B, Fe, K, pH, Ca y MO las propiedades con mayor contribución a la heterogeneidad. El análisis de clasificación permitió agrupar cuatro zonas con condiciones edáficas similares, las que se podrán utilizar para determinar el sistema de muestreo, número de muestras, tamaño y distribución de unidades experimentales y con ello facilitar la implementación de prácticas de manejo agronómico acordes con las características de cada zona.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Características generales del área de estudio

3.1.1. Ubicación

La investigación se realizó en la microcuenca “Las Pavas” con un área de 3,999.25 ha y un perímetro de 27,650.24 m, de acuerdo a los resultados obtenidos en la delimitación de la microcuenca, ubicada políticamente en la región Huánuco, provincia Leoncio Prado y distrito Mariano Dámaso Beraún; se encuentran asentadas nueve caseríos: por el Noreste los centros poblados de Clorinda Mattos de Turner, Chincamayo y Bejucal, por el Sureste los centros poblados de Santa Rosa de Quesada, Tambillo Chico, San Pedro de Pacchaj, Nuevo Paraíso, Javier Pérez de Cuellar y Corazón de Jesús. Geográficamente se encuentra en la parte centro oriental del país y presenta las siguientes coordenadas UTM 392783 E, 8963991 N” y una altitud de 650 msnm en la desembocadura (Figura 1).

3.1.2. Clima

Predomina un clima cálido y húmedo con una precipitación de 3,200 mm al año, con período de máxima precipitación entre los meses de octubre a marzo y mínima entre los meses de junio a agosto; los otros meses tienen precipitación pluvial intermedia. La temperatura promedio anual es de 25

°C, con leves descensos en los meses de junio, julio y agosto con oscilación media de 7 °C, con respecto a la media anual (SUB ESTACION “LAS PAVAS”, 2003).

3.1.3. Cultivo principal

El cultivo principal en la microcuenca “Las Pavas” es el café (*coffea arabica*). Debido a que estos últimos años el distrito de Mariano Dámaso Beraún ha sido intervenido por proyectos productivos, llegando un aproximado de 260 ha en su mayoría la variedad catimor y caturra roja, seguido del plátano (*Musa paradisiaca L.*) y otros cultivos de pan llevar como yuca (*Manihot esculenta*), maíz (*Zea mays*) etc.

3.1.4. Ecología

De acuerdo a la clasificación de zonas de vida o formaciones vegetales del mundo y el diagrama bioclimático de HOLDRIGE (1986) la zona de estudio se encuentra dentro de la zona ecológica: Bosque muy Húmedo – Premontano Subtropical (bmh-PST) y de acuerdo a la regiones del Perú corresponde a Rupa Rupa o Selva Alta.

3.1.5. Hidrología

El principal curso de agua la constituye el río “Las Pavas” que es tributario de la cuenca del río Huallaga.

3.1.6. Accesibilidad

La accesibilidad a la microcuenca “Las Pavas”, es vía terrestre por

la carretera Fernando Belaunde Terry de Tingo María - Huánuco, a 15 – 20 minutos de la ciudad de Tingo María, el acceso es con todo tipo de vehículos de transportes, y las vías para llegar a los caseríos es por una carretera afirmada.

3.2. Materiales y equipos

- Imágenes de satélite Rapid eye de 5 m x 5 m de resolución del 2013.
- Muestras de suelo.
- Cámara fotográfica.
- Empalme N° 19K y 19L, de la Carta Nacional elaborado por el IGN.
- Receptor GPS (Sistema de Posicionamiento Global).
- Computadora portátil.

3.3. Metodología

3.3.1. Fase de campo

La fase de campo consistirá en lo siguiente:

3.3.1.1. Identificación del lugar

En la primera fase se realizó el reconocimiento de la microcuenca, previa coordinación con las autoridades de los diferentes caseríos del lugar, y con los productores de café. Asimismo; se recopiló información cartográfica física y digital disponible como imágenes satelitales (Rapid eye) y mapas de la zona de estudio.

3.3.1.2. Determinación de número de muestras

Para ello se tuvo en cuenta las unidades fisiográficas y de acuerdo a esta información se estableció el tamaño de muestras.

3.3.1.3. Muestreo de suelos y registro de datos

El muestreo de los suelos se realizó mediante el método zig-zag, que consistió en dibujar líneas transversales imaginarias en el área a muestrear, las mismas que fueron extraídas de 0 a 30 cm de profundidad cada muestra se colectó utilizando un barreno tubular, lo cual permitió que cada una de ellas contuviese un volumen de suelo similar. Posteriormente, todas las muestras se mezclaron para formar una muestra compuesta, de aproximadamente 1 kg por cada unidad fisiográfica, asimismo; se georreferenció cada unidad muestral utilizando un receptor GPS.

3.3.2. Fase de laboratorio

3.3.2.1. Análisis físico químico del suelo

Se determinaron los análisis físico-químicos los mismos que fueron analizados en el Laboratorio de Suelos perteneciente a la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, de acuerdo a los métodos descritos en el cuadro 9 para su posterior interpretación y con los datos obtenidos realizar la interpolación para representarlo cartográficamente la distribución de los nutrientes en toda la microcuenca.

Cuadro 9. Indicadores de suelos y métodos de determinación

Indicadores	Metodología de determinación
Textura del suelo	Método del hidrómetro de Bouyoucos
Materia orgánica	Método de Walkley y Black
Reacción del suelo (pH)	Método del potenciómetro relación suelo agua 1:1
Nitrógeno total	% M.O. x 0.045
Fósforo disponible	Método de Olsen Modificado. Extracto NaHCO_3 0.5 M, pH 8.5
Potasio disponible	Método del Ácido sulfúrico 6N
Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	Método de Acetato de Amonio 1N. pH: 7.0 (suelos con pH > 5.5).
Calcio (Ca)	Absorción atómica
Magnesio (Mg)	Absorción atómica
Potasio (K)	Absorción atómica
Sodio (Na)	Absorción atómica
(CICe).	Desplazamiento con KCl 1 N (Suelos con pH < 5.5)
Aluminio más Hidrógeno	Método de Yuan
Calcio más magnesio	Método de E.D.T.A (Versenato)

Fuente: Laboratorio análisis de suelos de la UNAS

3.3.2.2. Interpretación de los análisis de suelos

Para la interpretación de los resultados analíticos del laboratorio y los parámetros físicos y químicos analizados se tomó en consideración la metodología propuesta por Fassbender (1975), citado por SÁNCHEZ (1981) y SOIL SURVEY STAFF (1993).

Cuadro 10. Normas para la interpretación de los análisis químicos

Tipo de análisis	Muy baja	Baja	Moderada	Adecuada	Alta	Muy alta
N (%)	<0.05	0.05-0.10	0.10-0.15		0.15-0.25	>0.25
P (ppm)	<3	3 – 7		7 – 15	15 – 25	>25
CIC (cmol/kg)	<6	6 – 12	12 – 25		25 – 40	>40
SB (%)	<20	21 – 40	41 – 60		61 – 80	81 - 100
Ca (cmol/kg)	<2	2 – 5	5 – 10		10 – 20	>20
Mg (cmol/kg)	<0.50	0.50-1.50	1.50-4.00		4 – 8	>8
K (cmol/kg)	<0.10	0.10-0.20	0.20-0.40	0.40-0.70	0.70-1.20	>1.20
Na (cmol/kg)	<0.10	0.10-0.30	0.30-0.70		0.70-2.00	>2

Fuente: Fassbender (1975), citado por SÁNCHEZ (1981).

3.3.3. Fase final de gabinete

3.3.3.1. Elaboración de mapa temático

Para la elaboración de los mapas temáticos respecto a la distribución espacial de las áreas de las zonas de estudio, primero se consideró trabajar con el Sistema Universal de Mercator (UTM) y con la proyección del Datum WGS 84. A partir de los resultados de los parámetros físicos y químicos del suelo obtenidos en el laboratorio, se llevó al sistema GIS y se identificaron en el software con sus respectivas coordenadas, ubicándolas espacialmente en la microcuenca “Las Pavas”, posteriormente se utilizó el interpolador Spline, este interpolador permitió generar superficies a partir de aproximaciones geo estadísticas, con la finalidad de determinar áreas de tipo raster, que posteriormente se convirtió en polígonos de formato shp.

La información de los parámetros fisicoquímicos del suelo, en su totalidad con el programa ArcGis se generó los mapas temáticos y se utilizó una escala de trabajo 1/50,000. Se clasificó el suelo de acuerdo a sus características y propiedades (físicas y químicas) y los criterios de interpretación del suelo fue de acuerdo a su fertilidad.

3.3.3.2. Variables e indicadores

- Variable independiente (X)

Independiente: Fisiografía y tipos de suelo de la microcuenca “Las Pavas”.

- **Variable dependiente (Y)**

Dependiente: Propiedades físicas y químicas de los suelos de la microcuenca “Las Pavas”.

Los resultados obtenidos a partir de los análisis fisicoquímicos de los suelos, extraídos al azar de la microcuenca “Las Pavas”; fueron necesario para determinar el grado de correlación entre las variables de parámetros físicos y químicos; para el grado de correlación se utilizó la siguiente fórmula (CALZADA, 1996).

Coefficiente de correlación de Fisher y/o Pearson:

$$r = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \sqrt{n(\sum y^2) - (\sum y)^2}}$$

Del mismo modo, para determinar la relación entre las propiedades físicas y químicas del suelo se utilizó la prueba estadística del coeficiente r de Pearson (HERNÁNDEZ *et al.*, 2006). El coeficiente r de Pearson puede variar de -1.00 a + 1.00, donde: -1.00 = correlación negativa perfecta. (“A mayor X, menor Y”, de manera proporcional. Es decir, cada vez que X aumenta una unidad, Y disminuye siempre una cantidad constante.) Esto también se aplica “a menor X, mayor Y”.

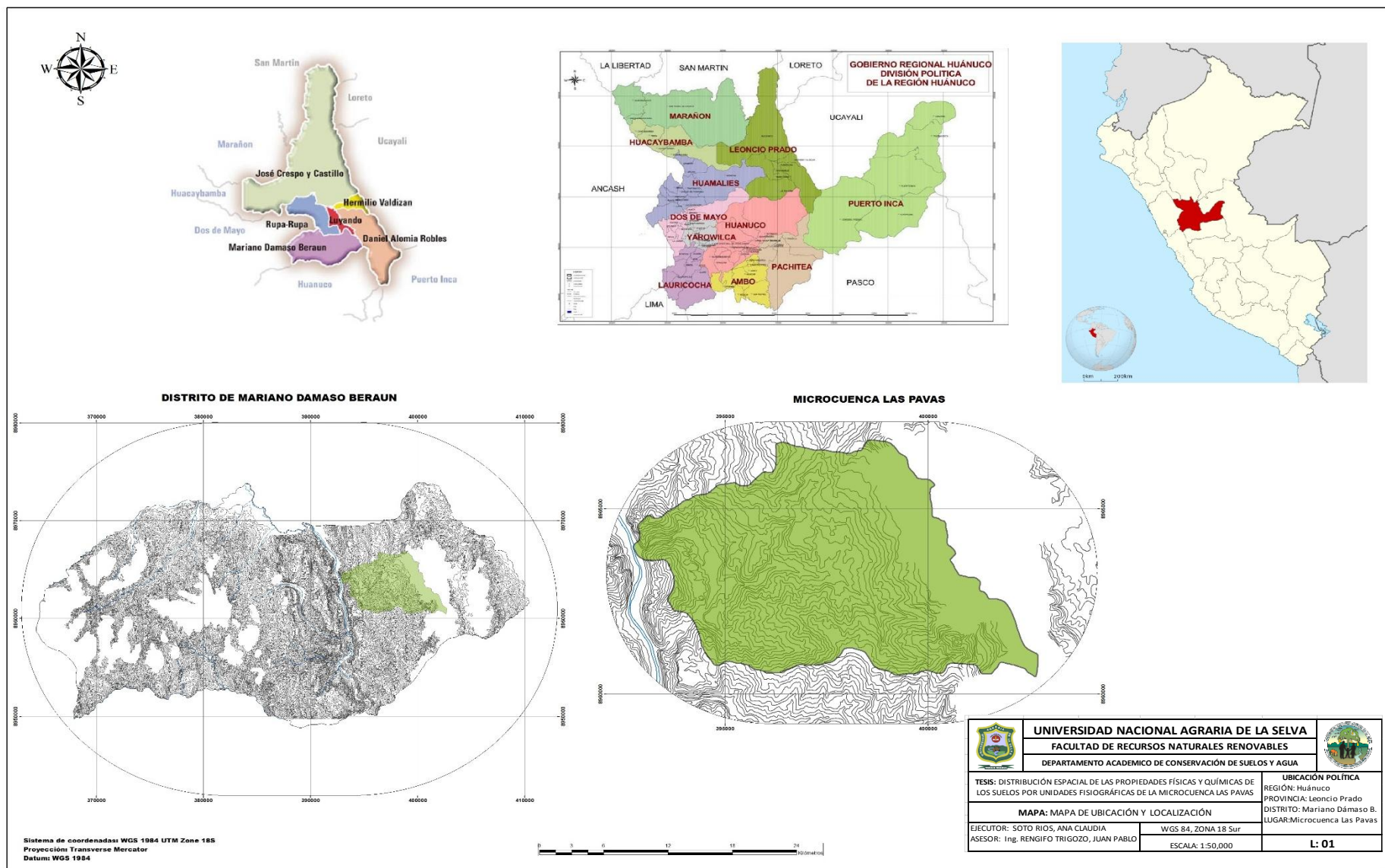


Figura 1. Mapa de ubicación de la microcuenca “Las Pavas”

IV. RESULTADOS

4.1. Fisiografía

Presenta una fisiografía de terraza media plana y de tarraza alta ondulada a plana, seguido de lomadas, colinas bajas de ligera a moderadamente disectadas, colinas altas ligera, moderada y fuertemente disectadas y montañas bajas y altas, que forman parte de la cordillera oriental y presentan topografía irregular (Cuadro 11 y Figura 2).

Cuadro 11. Unidades fisiográficas de la microcuenca “Las Pavas”

Código	Descripción	Base local 650 m.s.n.m	Pendiente (%)	Área (ha)	Porcentaje (%)
TMP	Tarraza media plana	80 a 300 m	0 a 8%	16.1	0.4
TAO	Terraza alta ondulada	> 300m	15 a 25%	380	9.5
TAP	Terraza alta plana	> 300m	0 a 15%	121.2	3.03
L	Lomadas	0 a 80 m	8 a 15%	20.49	0.51
CBLD	Colinas bajas ligeramente disectadas	0 a 100m	15 a 25%	28.19	0.7

CBMD	Colinas bajas moderadamente disectadas	0 a 100m	25 a 50%	43.46	1.09
CALD	Colinas altas ligeramente disectadas	100 a 300m	15 a 25%	74.36	1.86
CAMD	Colinas altas moderadamente disectadas	100 a 300m	25 a 50%	421.8	10.55
CAFD	Colinas altas fuertemente disectadas	100 a 300m	> 50%	179.22	4.48
MB	Montaña baja	> 300 ≤ 1000m	> 25%	2115.1	52.89
MA	Montaña alta	>1000m	> 25%	599.3	14.99
Total				3999.3	100

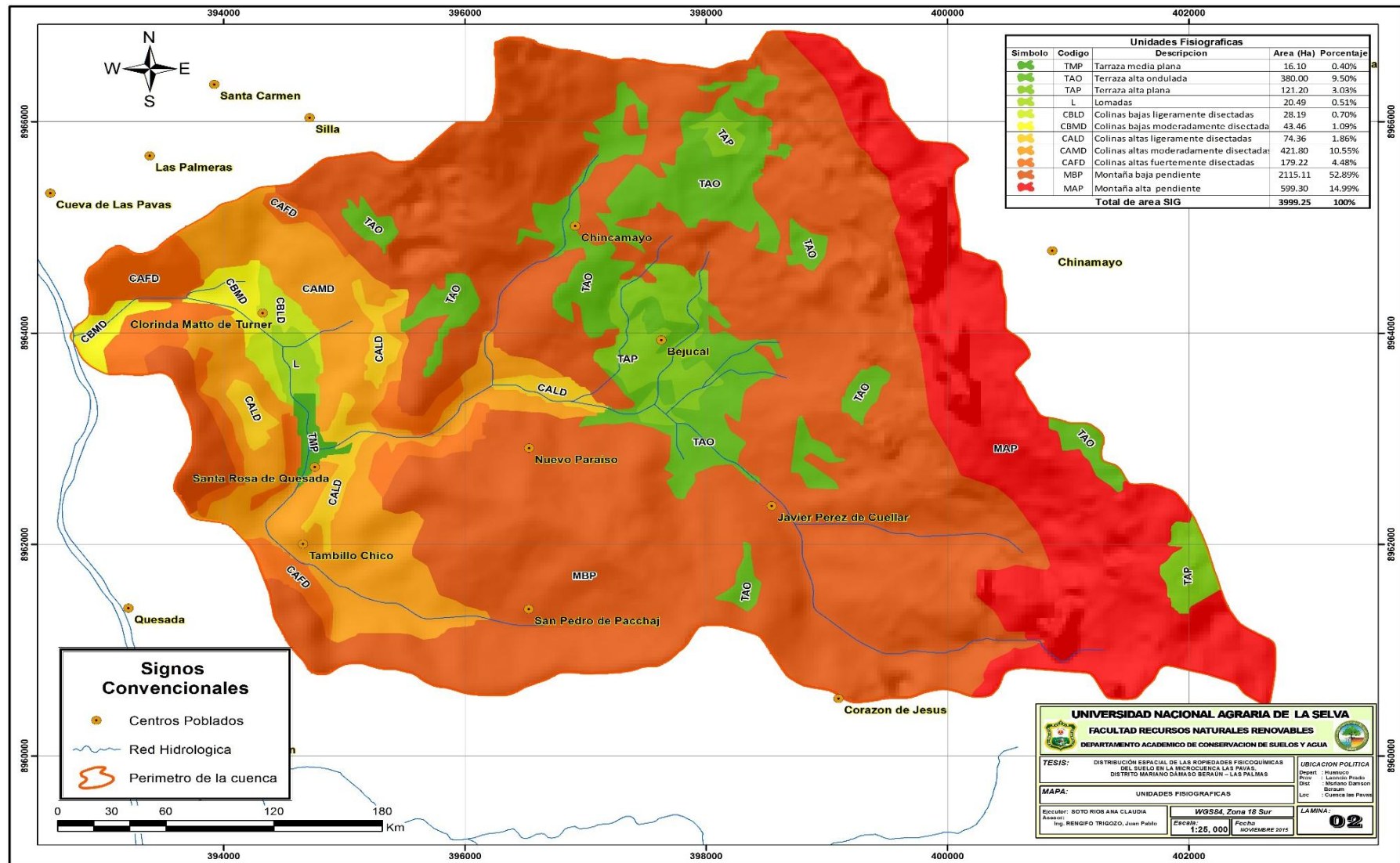


Figura 2. Mapa fisiográfico de la microcuenca “Las Pavas”

4.2. Caracterización e interpretación las propiedades físicas y químicas de los suelos por unidades fisiográficas en la microcuenca “Las Pavas”

Los contenidos de arena en los suelos de la microcuenca “Las Pavas” por unidad fisiográfica, CALD y L presentan bajos contenidos de arena con rangos de 37.68 % y 35.68 % respectivamente, mientras mayores valores la presentaron TMP, CBLD y TAP por encima de 60% de contenidos de arena.

Los contenidos de arcilla en los suelos de la microcuenca “Las Pavas” por unidad fisiográfica, las unidades CBLD y TAP presentan bajos contenidos de arcilla (7.04 %), mientras que mayores valores la presentaron TAO y L con 25.04 % y 21.04 % respectivamente.

Los contenidos de limo en los suelos de la microcuenca “Las Pavas” presentes por unidad fisiográfica, TMP presentó un bajo contenido de limo 15.28 %, mientras que mayores valores la presentaron CALD y L ambos con 43.28 %.

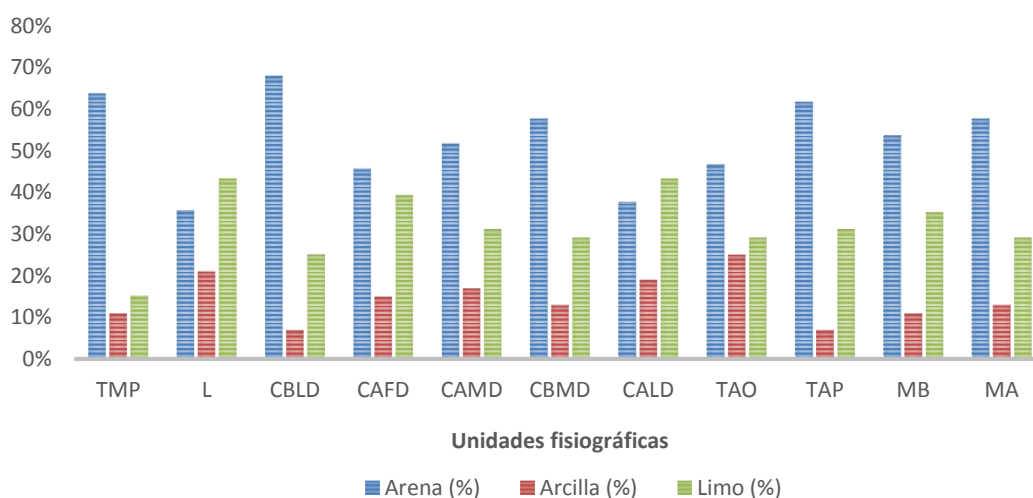


Figura 3. Contenido de arena, arcilla y limo presente por unidades fisiográficas

La reacción del suelo presentes por unidad fisiográfica en la microcuenca “Las Pavas”, la TMP, CAFD, CBMD, CALD y TAP presentan suelos de reacción neutra, mientras L, CBLD,TAO Y MB presentan reacciones moderadamente ácidas, el resto de las unidades presentaron reacciones de fuertemente ácidas (Figura 4).

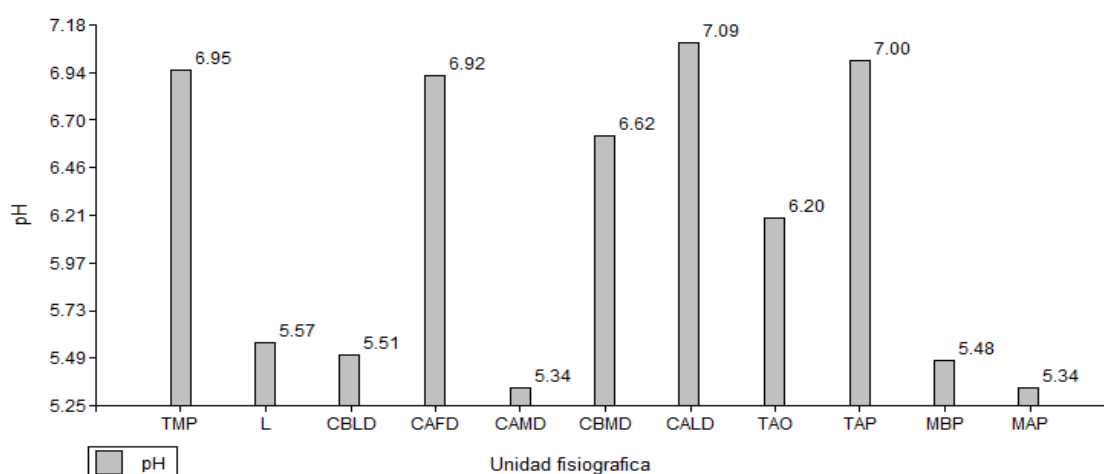


Figura 4. Reacción del suelo presentes por unidades fisiográficas

Los contenidos de materia orgánica en el suelo presentes por unidades fisiográficas en la microcuenca “Las Pavas”, donde L, CBLD, CALD y TAP presentaron contenidos medios de materia orgánica con rangos de 2.30 % hasta los 3.68 %, mientras las unidades fisiográficas TMP, CAFD, CAMD, CBMD, TAO, MB y MA presentaron altos contenidos de materia orgánica mayor de 4.00 % (Figura 5).

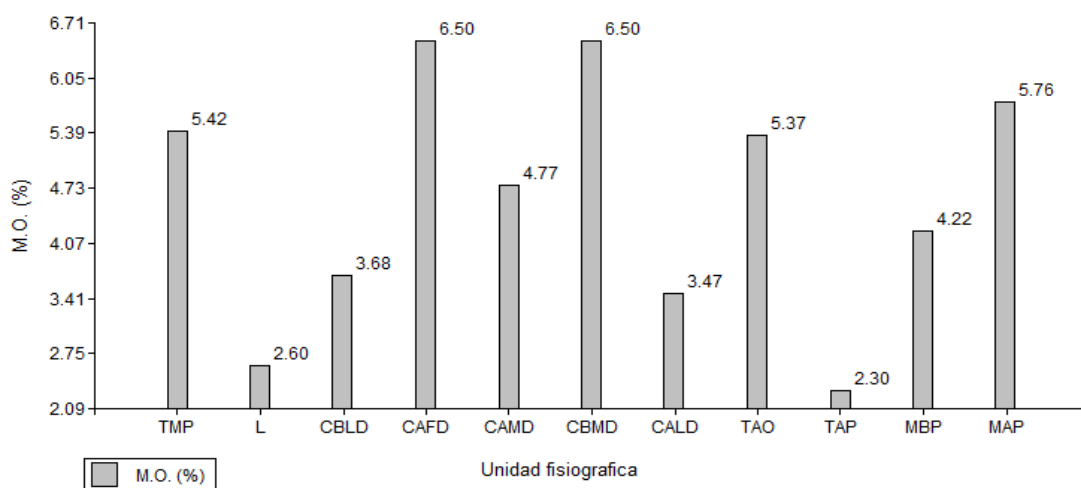


Figura 5. Contenido de materia orgánica en el suelo por unidades fisiográficas

El contenido de nitrógeno en el suelo presentes por unidades fisiográficas en la microcuenca “Las Pavas”, donde L, CBLD, CALD, TAP y MB presentaron medios contenidos de nitrógeno con rangos de 0.1% hasta los 0.19%, mientras las unidades fisiográficas TMP, CAFD, CAMD, CBMD, TAO y MA presentaron niveles altos de nitrógeno con rangos de 0.21 % a 0.2 % (Figura 6).

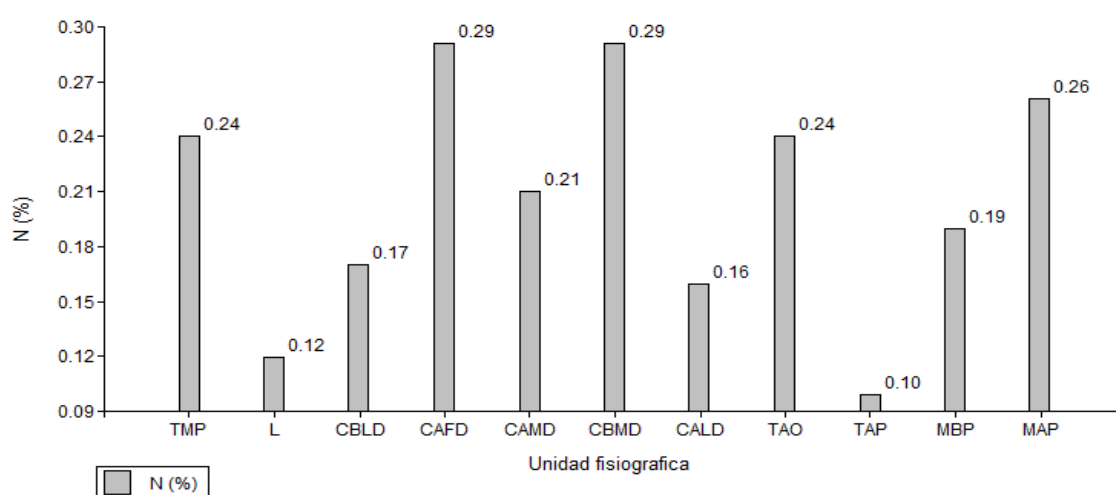


Figura 6. Contenido nitrógeno en el suelo por unidades fisiográficas

Los contenidos de fósforo en el suelo, presentes por unidades fisiográficas en la microcuenca “Las Pavas”, donde CBLD, CAMD, CBMD, TAO, TAP y MB presentaron bajo contenido en fósforo con rangos de 5.55 ppm a 13.65 ppm, mientras que las unidades fisiográficas L y MA presentaron un nivel normal de fósforo en el suelo con rangos de 19.43 ppm y 23.54 ppm y las unidades fisiográficas de TMP, CAFD y CALD presentaron niveles altos de fósforo con rangos de 32.74 ppm a 42.00 ppm (Figura 7).

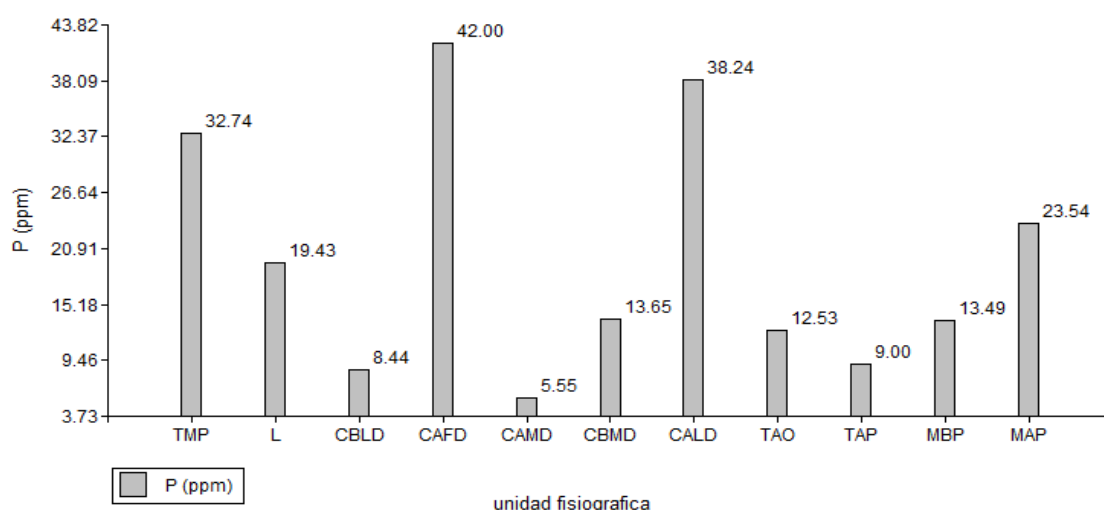


Figura 7. Contenido de fósforos presentes por unidades fisiográficas

El contenidos de óxido de potasio en el suelo, presentes por unidad fisiográfica, en la microcuenca “Las Pavas”, donde L, CBLD, CAFD, CAMD y CALD presentan niveles muy bajo de óxido de potasio con rangos de 137.41 kg/ha a 225.13 kg/ha, mientras que las unidades fisiográficas TMP, CBMD, TAO, MB y MA, presentan contenidos medios de este elemento, con rangos de 328.61 kg/ha a 557.86 kg/ha, finalmente la unidad fisiográfica TAP presenta un alto contenido con 1146.18 kg/ha (Figura 8).

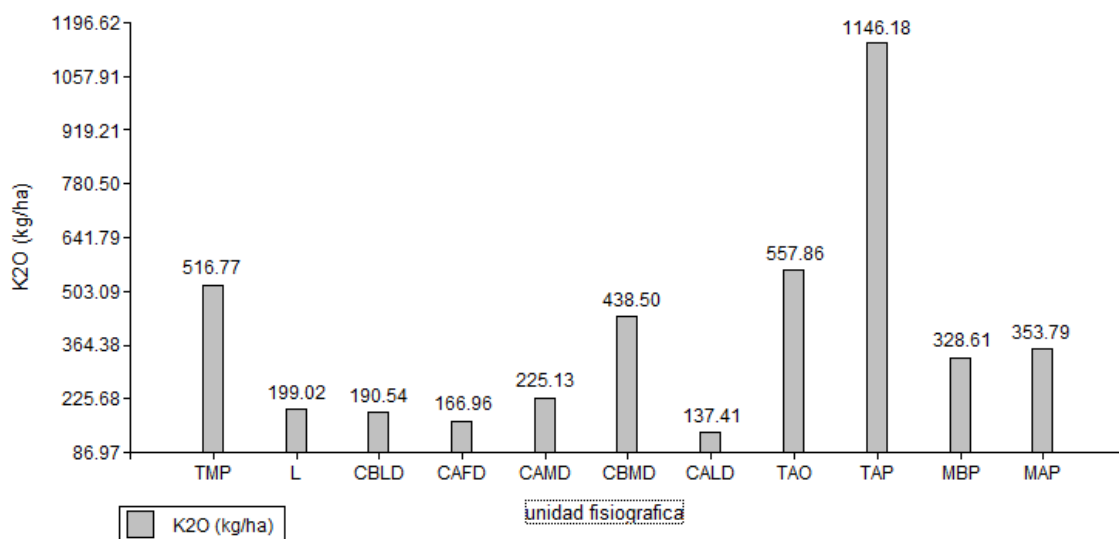


Figura 8. Contenido de óxido de potasio en el suelo por unidades fisiográficas

La capacidad de intercambio catiónico en el suelo, por unidades fisiográficas presentes en la microcuenca “Las Pavas” se tomó en consideración para una reacción mayor a pH >5.5, donde L, MB y MA presentan una baja capacidad de intercambio catiónico con rangos de 6.00 cmol/kg de suelo a 10.22 cmol/kg de suelo, mientras las unidades fisiográficas CAFD, CAMD, CBMD, CALD, TAO y TAP presentaron niveles medio de capacidad de intercambio catiónico con rangos de 14.20 cmol/kg de suelo a 18.18 cmol/kg de suelo, mientras que las unidades fisiográficas TMP y CBLD presentaron un nivel alto de capacidad de intercambio catiónico con rangos de 21.89 cmol/kg de suelo y 31.21 cmol/kg de suelo respectivamente (Figura 9).

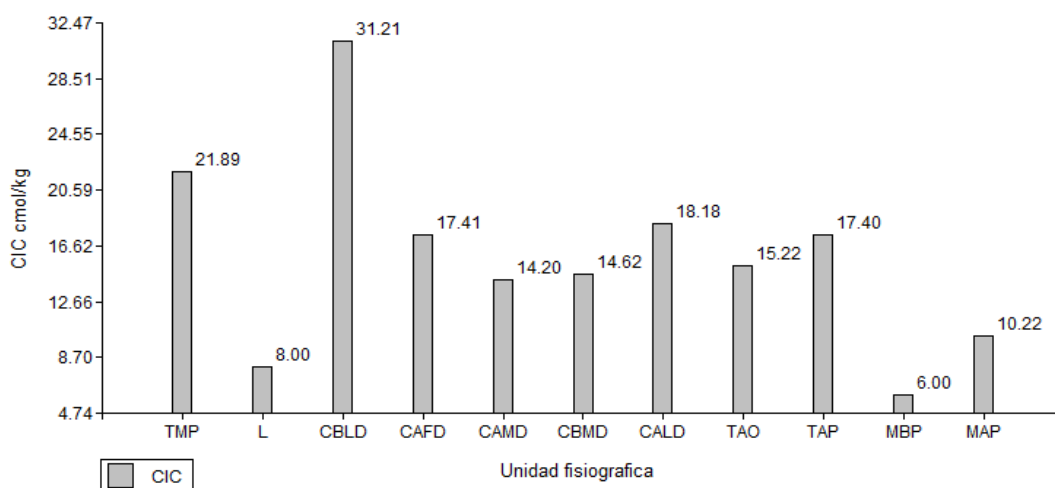


Figura 9. Contenido de capacidad de intercambio catiónico (CIC) por unidades fisiográficas

Los contenidos de calcio en el suelo presentes por unidades fisiográficas en la microcuenca “Las Pavas”, donde un bajo contenido de calcio se registra en la unidad fisiográfica MB 3.95 cmol/kg, y contenido moderado en MA con 7.73 cmol/kg, mientras que las unidades fisiográficas TMP, L, CAMD, CBMD, CALD, TAO y TAP presentan contenidos alto de calcio con rangos de 10.48 cmol/kg de suelo a 15.45 cmol/kg de suelo y las unidades fisiográficas CBLD y CAFD presentan muy altos contenidos de calcio con 22.32 cmol/kg de suelo y 20.44 cmol/kg de suelo respectivamente (Figura 10).

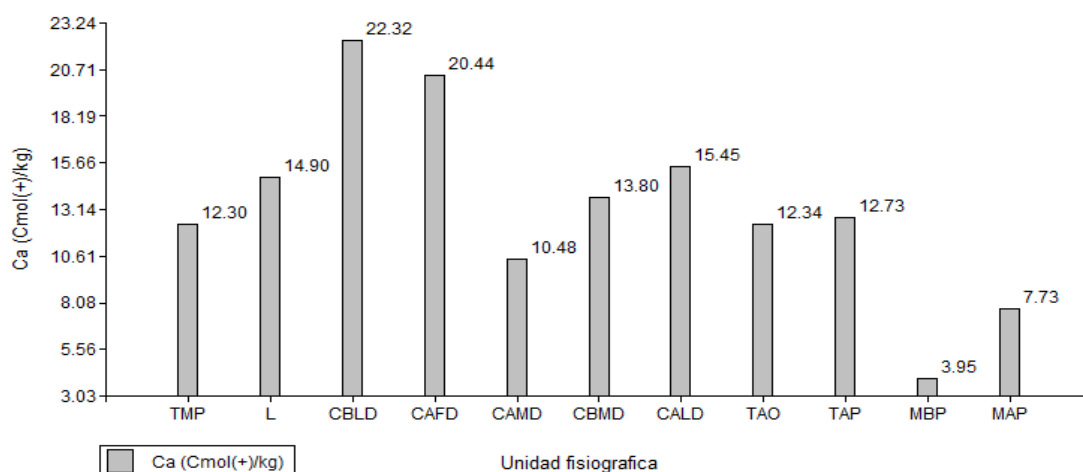


Figura 10. Contenido de calcio presente por unidades fisiográficas

Los contenidos de magnesio del suelo presentes por unidades fisiográficas en la microcuenca “Las Pavas”, donde la unidad fisiográfica CAFD presenta un bajo contenido de magnesio con 1.33 cmol/kg de suelo, mientras que las demás unidades fisiográficas TMP, L, CBLD, CAMD, CBMD, CALD, TAO, TAP, MB y MA presentan moderados contenidos de magnesio en sus suelos con rangos de 1.60 cmol/kg de suelo hasta los 4.00 cmol/kg de suelo (Figura 11).

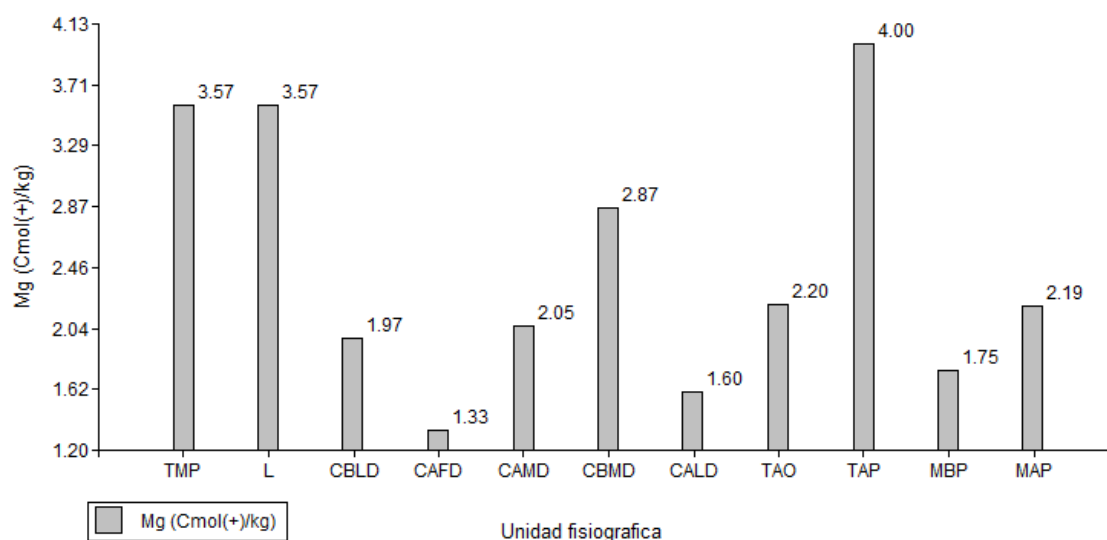


Figura 11. Contenido de magnesio presente por unidades fisiográficas

4.3. Representación cartográfica de la distribución espacial de las propiedades físicas y químicas de los suelos por unidades fisiográficas en la microcuenca “Las Pavas”

4.3.1. Textura del suelo

La distribución de la textura del suelo presente por unidades fisiográficas en toda la microcuenca “Las Pavas”, presentan clases texturales; franco arenoso con una extensión de 1812.313 ha que representa un 45.32% de área total de la microcuenca y franco con una área de 2186.939 ha que representa el 54.68% del área total de la microcuenca (Cuadro 13 y Figura 12).

4.3.2. pH

En el (Cuadro 14 y Figura 13) se muestran la distribución de la reacción del suelo presente por unidades fisiográficas en toda la microcuenca “Las Pavas”, los suelos son de reacción fuertemente ácido en unidades fisiográficas CAMD y MA con un rango de 4.6 a 5.4 en un área de 14.28 ha equivalente a 0.36% del área total de la microcuenca, suelos con reacción moderadamente ácido en unidades fisiográficas CAFD, CALD, CAMD, CBLD, CBMD, L, MA, MB, TAO, TAP y TMP con rangos de 5.5 a 6.5 en un área de 3595.25 ha equivalente a 89.90% del área total de la microcuenca, y los suelos con reacción neutra en unidades fisiográficas CAFD, CALD, CAMD, CBMD, MB, TAO y TAP con rangos de 6.6 a 7.3 en un área de 389.72 ha equivalente a 9.74% del área de toda la microcuenca “Las Pavas”.

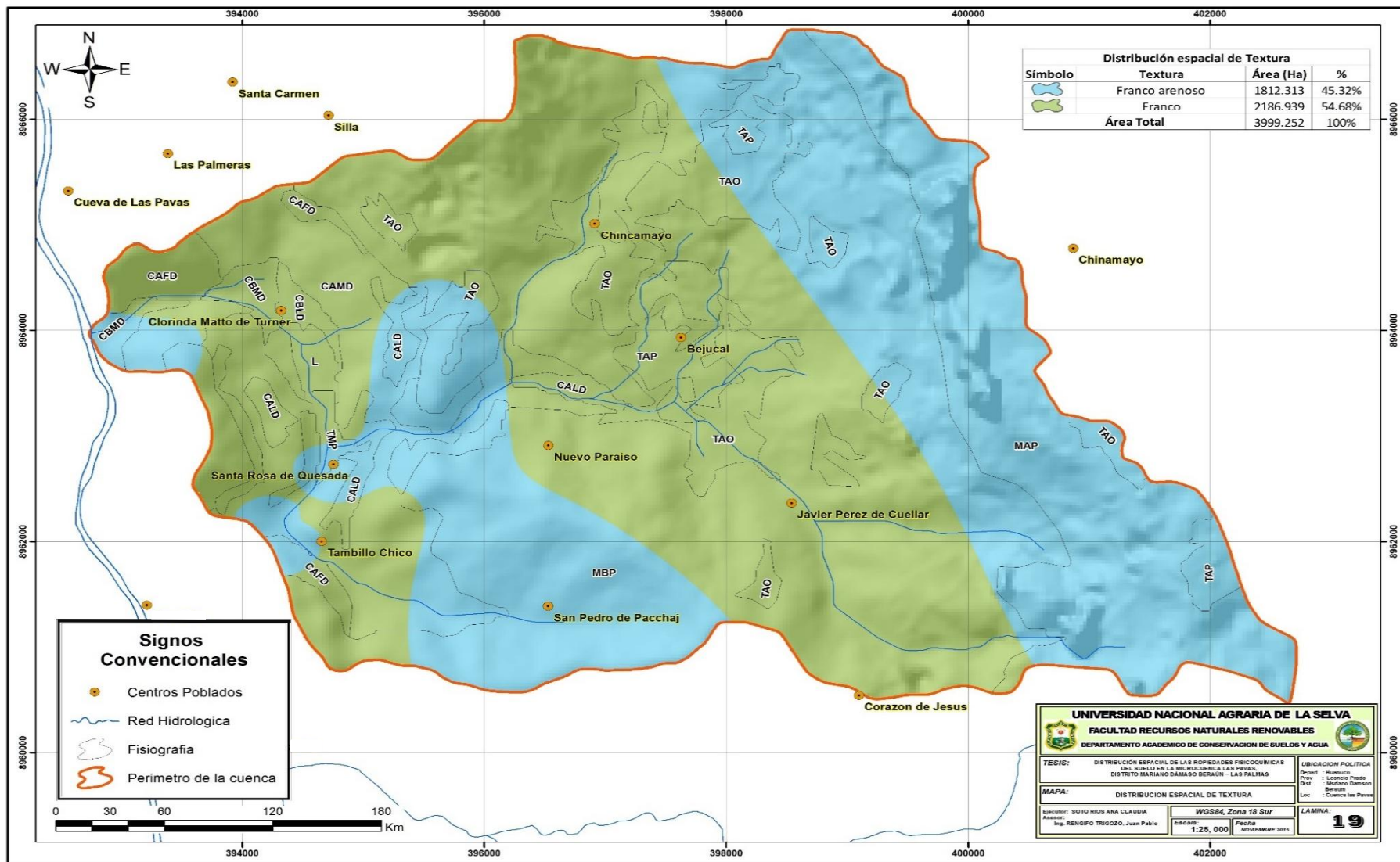


Figura 12. Mapa de la distribución espacial de textura en la microcuenca “Las Pavas”

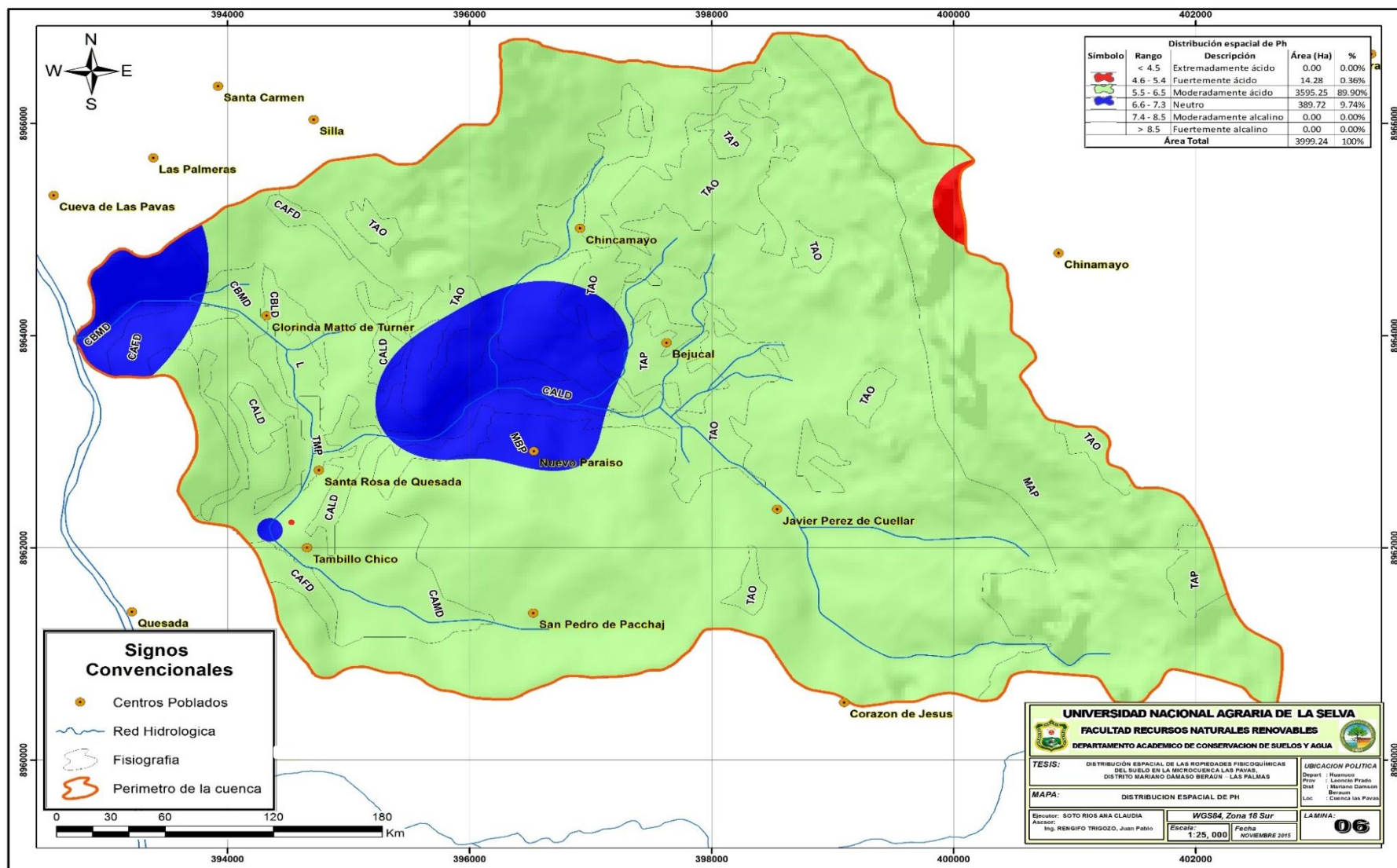


Figura 13. Mapa de la distribución espacial del pH en la microcuenca “Las Pavas”

4.3.3. Materia orgánica

La distribución de materia orgánica presenta nivel medio en unidades fisiográficas CAFD, CALD, L, MB, TAO, TMP con rangos de 2 % a 4 % y representan el 14.99 % del área total de la microcuenca, niveles altos en unidades fisiográficas CAFD, CAMD, CBLD, CBMD, MB y TAO con rangos mayor de 4% equivalentes al 85.01 % del área total de la microcuenca “Las Pavas” (Cuadro 15 y Figura 14).

4.3.4. Nitrógeno

La distribución espacial del nitrógeno del suelo presente en la microcuenca “Las Pavas” por unidad fisiográfica, presentan niveles de moderada en unidades fisiográficas CAFD, CALD, CAMD, CBLD, L, MB, TAO y TMP con un rango 0.10 % a 0.15 % en un área de 164.04 ha equivalentes a 4.10% del área total de la microcuenca, nivel alto en unidades fisiográficas CAFD, CALD, CAMD, CBLD, CBMD, L, MA, MB, TAO, TAP y TMP con rangos de 0.15 % a 0.25% en un área de 3,689.72 ha equivalentes al 92.26 % del área total de la microcuenca y niveles muy altos en unidades fisiográficas CAFD, CBMD, MA y MB con rangos mayores a 0.25 % en un área de 145.48 ha equivalentes a 3.64 % del área total de la microcuenca (Cuadro 16 y Figura 15).

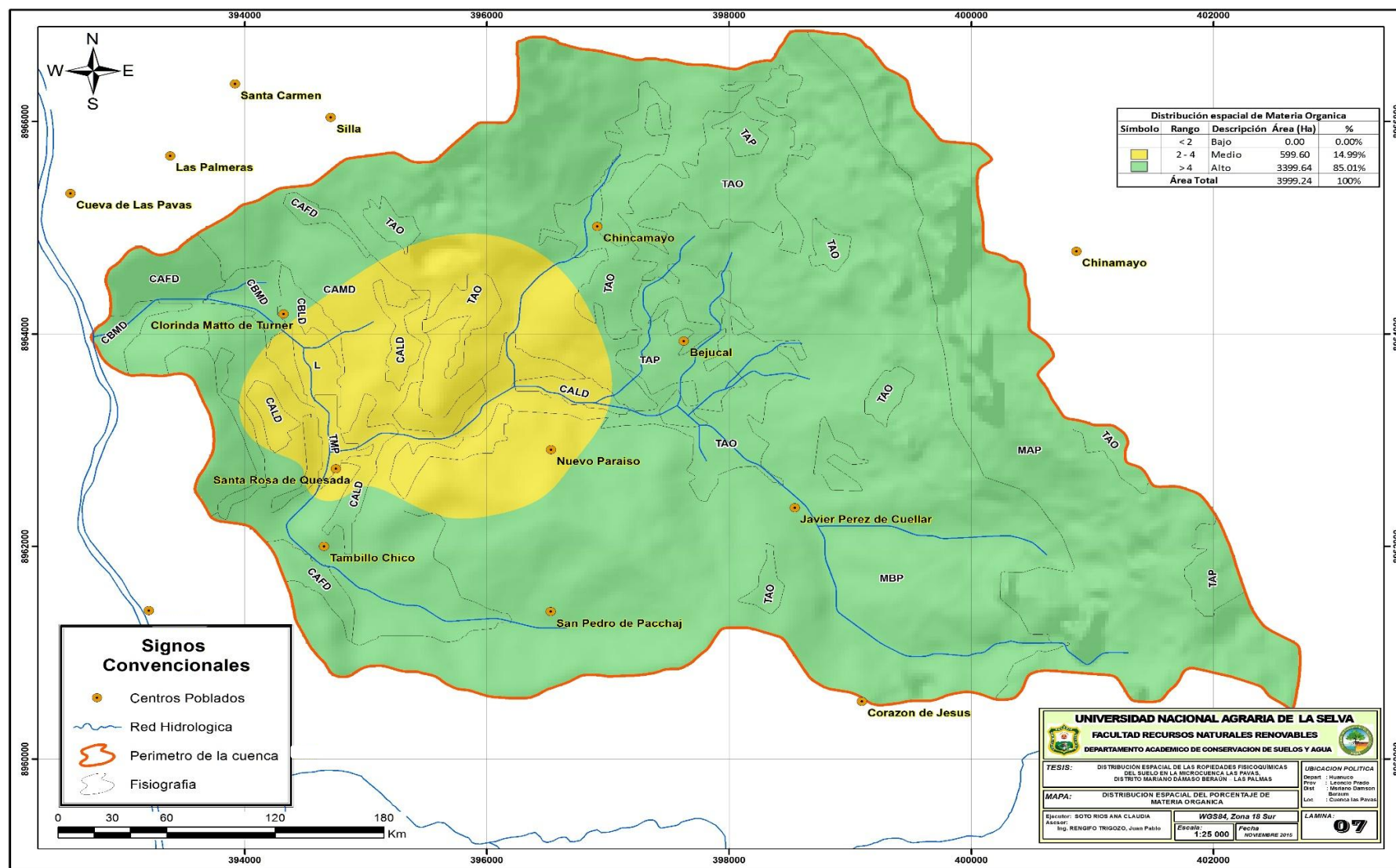


Figura 14. Mapa de la distribución espacial de la materia orgánica en la microcuenca “Las Pavas”

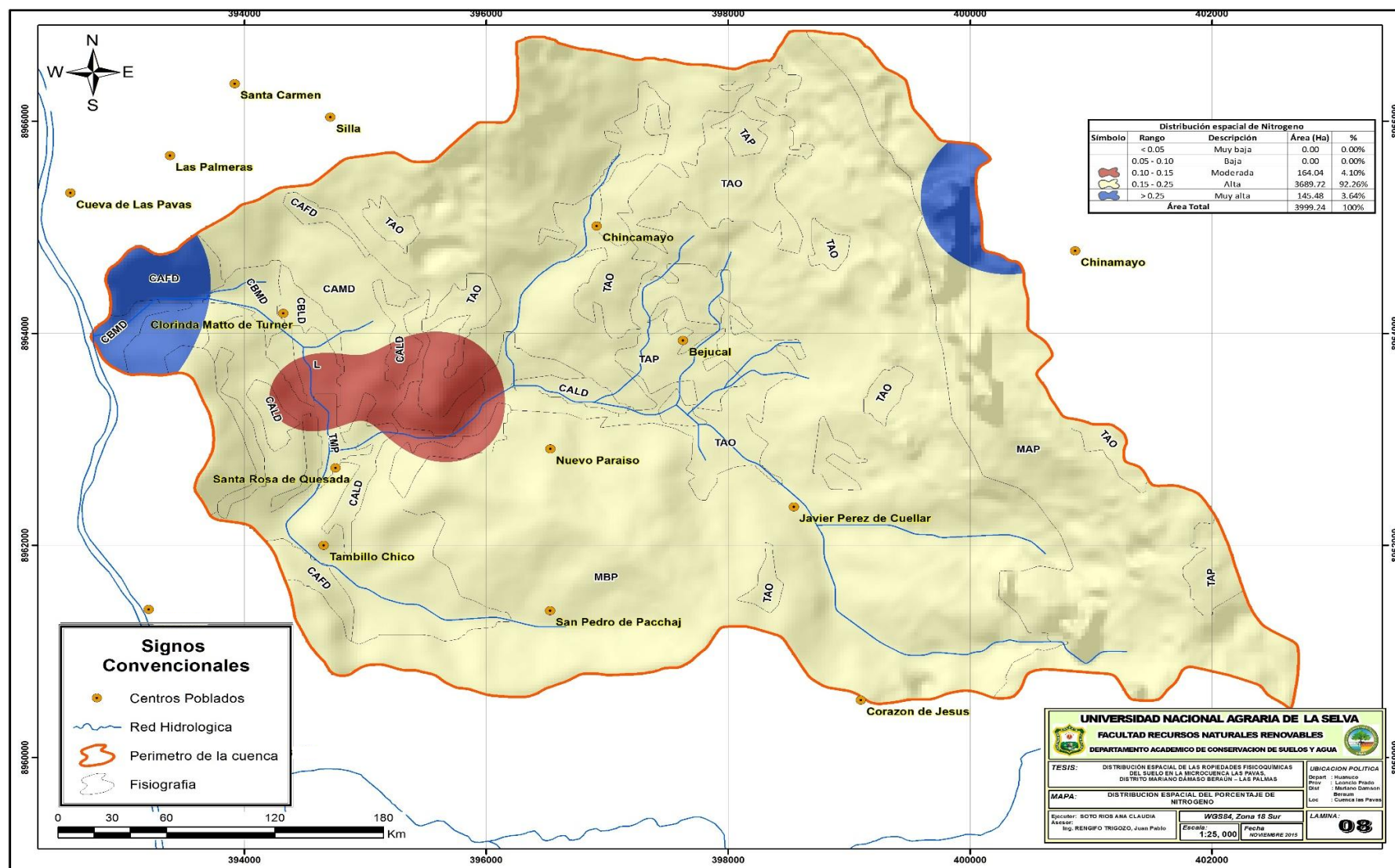


Figura 15. Mapa de la distribución espacial del nitrógeno en la microcuenca “Las Pavas”

4.3.5. Fósforo

La distribución espacial del fósforo disponible por unidades fisiográficas del suelo en la microcuenca “Las Pavas”, presentan niveles bajo en unidades fisiográficas CAMD, CAFD, CALD, CAMD, MB, TAO, TAP y TMP con un rango de 7 ppm y 15 ppm en un área de 268.43 ha equivalentes a 6.71% del total del área de la microcuenca, niveles normal en unidades fisiográficas CAFD, CALD, CAMD, CBLD, CBMD, L, MA, MB, TAO, TAP y TMP con rangos de 15 ppm a 25 ppm en un área de 3,556.16 ha equivalentes al 88.92 % del área total de la microcuenca y un nivel alto en las unidades fisiográficas CAFD, CALD, CAMD, CBMD, MB, TAO y TAP con rangos mayores de 25 ppm en un área de 174.65 ha equivalentes a 4.37 % del área total de la microcuenca “Las Pavas” (Cuadro 17 y Figura 16).

4.3.6. Óxido de potasio

La distribución espacial del óxido de potasio en el suelo presente en la microcuenca “Las Pavas” por unidades fisiográficas, presentan niveles muy bajo en unidades fisiográficas CAFD, CALD, CAMD, CBLD, CBMD, L, MB y TMP con rangos menores a 300 (kg/ha) en un área de 194.32 ha equivalentes a 4.86 % del área total de la microcuenca, nivel medio en unidades fisiográficas CAFD, CALD, CAMD, CBLD, L, MA, MB, TAO, TAP y TMP con rangos de 300 (kg/ha) a 600 (kg/ha) en un área de 3,690.61 ha equivalentes al 92.28 % del área total de la microcuenca y un nivel alto en unidades fisiográficas CAFD, CALD, CAMD, MB y TAO con rangos mayores a 600 (kg/ha) en un área de 114.31 ha equivalentes a 2.86% del área total de la microcuenca (Cuadro 18 y Figura 17).

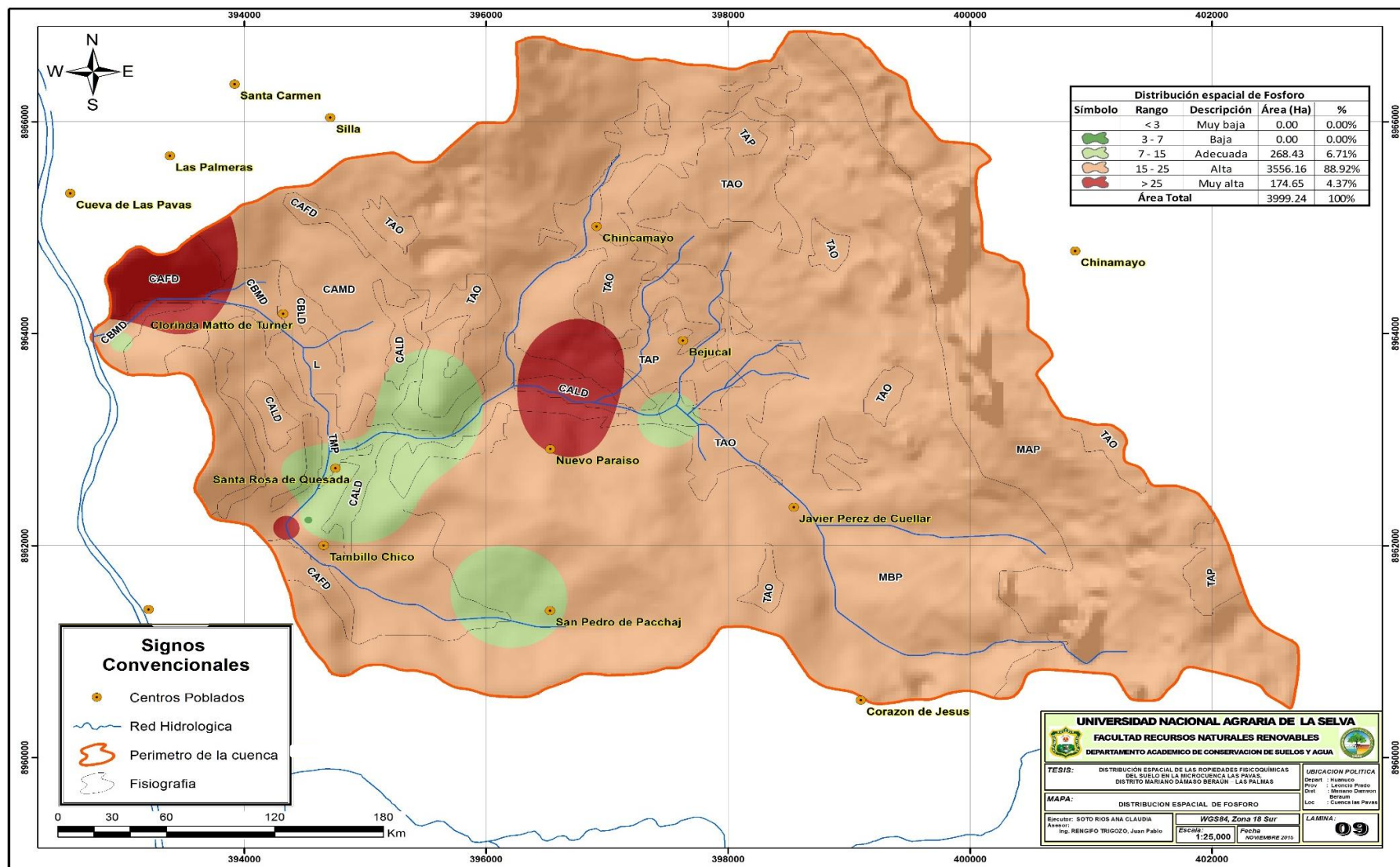


Figura 16. Mapa de la distribución espacial del fósforo en la microcuenca “Las Pavas”

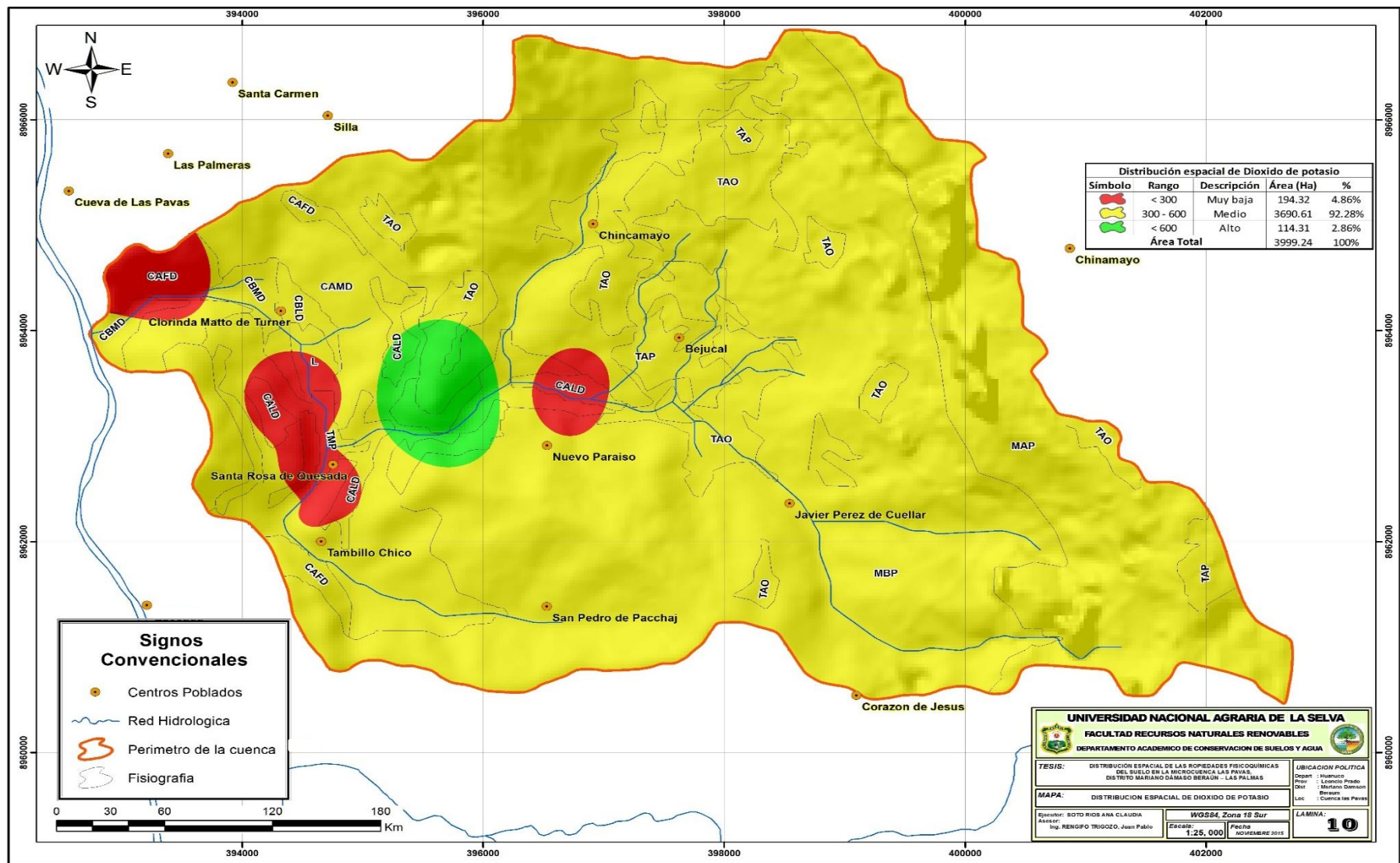


Figura 17. Mapa de la distribución espacial del dióxido de potasio en la microcuenca “Las Pavas”

4.3.7. Capacidad de intercambio catiónico

La distribución espacial por unidades fisiográficas de la capacidad de intercambio catiónico del suelo presente en la microcuenca “Las Pavas”, presentan niveles bajo en unidades fisiográficas CAFD, CALD, CAMD, CBLD, L y TMP con rangos de 6 a 12 (Cmol(+)/kg) en un área de 74.14 ha equivalentes a 1.85% del área total de la microcuenca y nivel medio en unidades fisiográficas CAFD, CALD, CAMD, CBLD, CBMD, L, MA, MB, TAO, TAP y TMP con un rango de 12 a 25 (Cmol(+)/kg) en un área de 3925.10 ha equivalentes a 98.15 % del área total de la microcuenca “Las Pavas” (Cuadro 19 y Figura 18).

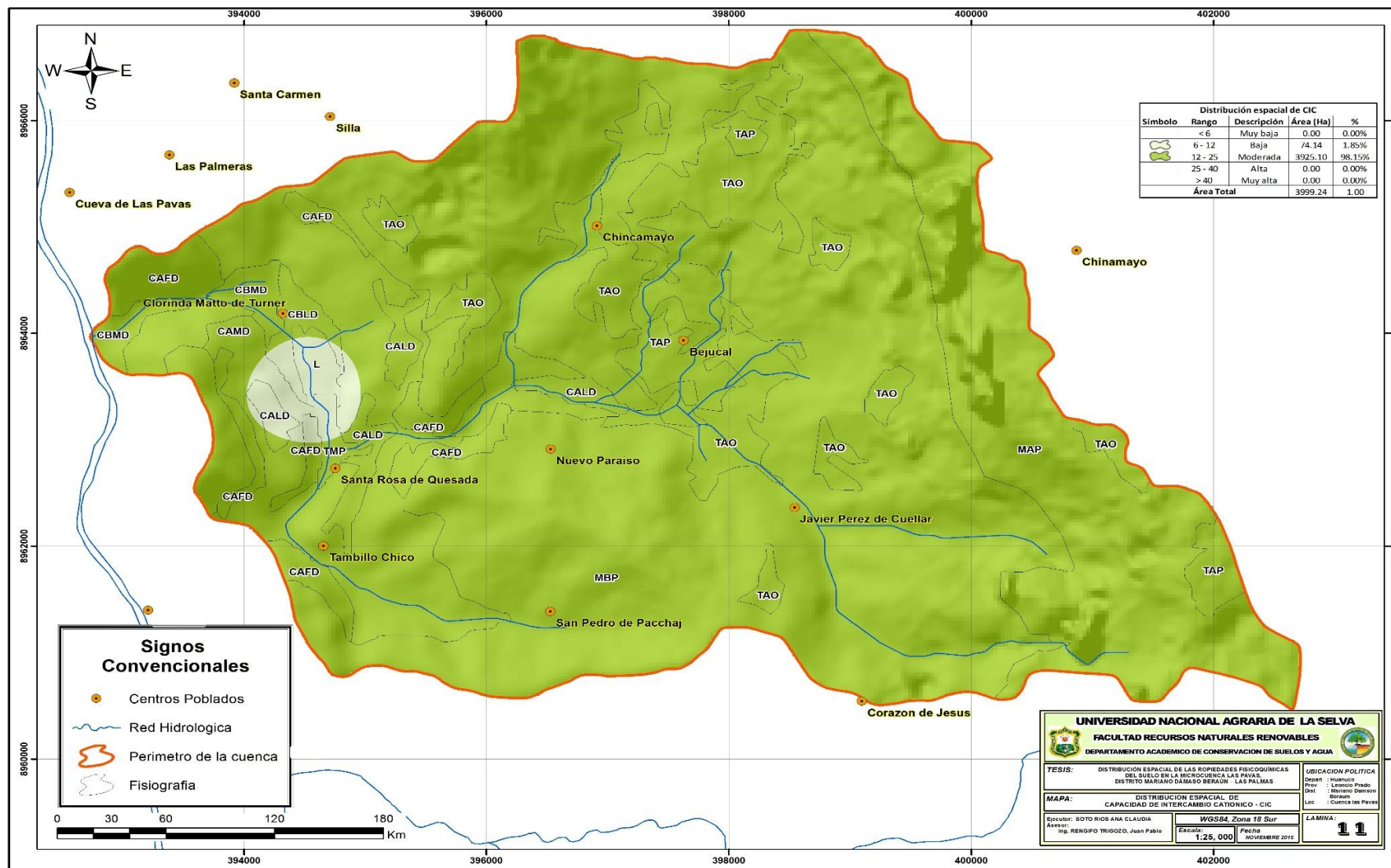


Figura 18. Mapa de la distribución espacial de la capacidad del intercambio catiónico en la microcuenca “Las Pavas”

4.4. Correlación entre las propiedades físico-químicos de los suelos en la microcuenca “Las Pavas”

La correlación entre las propiedades físicas y químicas del suelo, son negativas para las variables arcilla (%) con arena (%) (-0.82), limo (%) con arena (%) (-0.84), e hidrógeno (Cmol(+)/kg) con pH y sodio (Cmol(+)/kg) (-0.78), siendo significativas (p-valor <0.05), es decir que las variables (1) son inversamente proporcionales a las variables (2), en tanto si una de estas variables se incrementa la otra disminuye o viceversa (Cuadro 12).

Por otro lado, las correlaciones son positivas entre el nitrógeno del suelo y la materia orgánica (1.00), hidrógeno con aluminio (0.70), calcio con la CIC (0.74), es decir existe una correlación fuerte y positiva siendo altamente significativas (p-valor<0.05), donde la variable (1) es directamente proporcional a la variables (2) y que ambas crecen y decrecen conjuntamente.

Cuadro 12. Correlación entre las propiedades del suelo de la microcuenca “Las Pavas”

Variable (1)	variable (2)	coef. Pearson	p - valor	significancia
Arcilla (%)	Arena (%)	-0.82	0.0018	*
Limo (%)	Arena (%)	-0.84	0.0013	*
Nitrógeno	Materia org.	1.00	0.0000	*
Calcio	CIC	0.74	0.0099	*
H	Ph	-0.78	0.0047	*
H	Na	-0.78	0.0049	*
H	Al	0.70	0.0160	*

Fuente: elaboración propia, con un 5% de nivel de significancia y una probabilidad del 95% estadísticamente se encontró correlación entre las variables de estudio, (* significativo)

V. DISCUSIÓN

5.1. Caracterizar e interpretar las propiedades físicas y químicas de los suelos de la microcuenca “Las Pavas”

La unidad fisiográfica TMP, CBLD, CBMD, TAP, MB y MA presenta una textura franco arenoso, mientras que L, CAFD, CAMD, CALD y TAO presentan una textura franco; presentando suelos de textura uniforme y del grupo textural franco, los cuales son aptos para el establecimiento y producción de cultivos. ZAVALETA (1992) menciona, que las clases texturales se basan en las diferentes combinaciones de arena limo y arcilla, y que los suelos de textura franca mantienen una mezcla equilibrada de arena, limo y arcilla. Esto supone un equilibrio entre permeabilidad al agua y retención de agua y de nutrientes.

El contenido medio a alto de materia orgánica y moderado a alto de nitrógeno, obedece a la hojarasca presente en el suelo, a diferencias en niveles de contenido por la altitud y unidad fisiográfica y a la estrecha relación C/N. Respecto a ello CEPEDA (1991) indica, que al realizar las labores de limpieza; el tallo, hojas y todas las raíces son abandonadas en el suelo; al ser descompuestos incrementan los niveles de materia orgánica y nitrógeno; del mismo modo, el contenido y composición de la MO, están influenciados por la altitud, la cual está asociada a diferencias en la vegetación, temperatura, humedad, precipitaciones y características de estos suelos (SÁNCHEZ *et al.*,

2005). Esto lo confirma (ZAVALETA, 1992) que a mayores elevaciones las temperaturas son más bajas, lo que retarda la descomposición de la materia orgánica, originando una mayor concentración por falta de mineralización. Mientras que FERNÁNDEZ (2006), hace referencia que el nitrógeno puede llegar al suelo gracias a los aportes de materia orgánica y a la fijación bacteriana a partir del aire.

Los suelos presentan pH de fuerte a moderadamente ácidos (5.34 - 6.20), esto puede deberse a las actividades y mal manejo que le dan al recurso suelo (factor antrópico), también que la precipitación excede a la evapotranspiración existiendo varios procesos que producen iones de hidrógeno que hacen el suelo disminuya su pH. PLASTER (2000) menciona que un proceso natural principal que contribuye a la acidez del suelo es la respiración de las raíces de la planta y otros organismos del suelo. Durante la respiración los organismos sueltan dióxido de carbono que reacciona con el agua para producir ácido carbónico. A su vez, el ácido carbónico se descompone para descargar iones de hidrógeno. También se encontraron en algunas unidades fisiográficas pH neutro (6.62 - 7.09) esto se debe a la presencia de rocas calizas y a la influencia de la altitud. PLASTER (2000) menciona que los suelos que se han desarrollado a partir de materiales originales calcáreos como la caliza, cuando son jóvenes estos suelos suelen ser entre neutros y alcalinos. ROMERO *et al.* (2004) encontró tendencias similares en el comportamiento del pH respecto a la altitud, agregando además la relación de este parámetro con las características mineralógicas de los materiales geológicos que originaron los suelos estudiados.

El contenido alto del calcio, moderado del magnesio y de moderado a muy bajo el potasio, esto podría deberse al material original del suelo y al antagonismo que presenta el calcio y magnesio hacia el potasio, como menciona (NAVARRO, 2003) que el calcio y el magnesio presentan un claro efecto antagónico frente al potasio que puede dar lugar a situaciones de deficiencia potásica por excesos de calcio activo o de magnesio asimilable.

5.2. Representación cartográfica de la distribución espacial de las propiedades físicas y químicas de los suelos por unidades fisiográficas en la microcuenca “Las Pavas”

5.2.1. Propiedades físicas

El mapa de distribución espacial de las propiedades físicas nos muestra que existen áreas homogéneas entre las texturas franco y franco arenoso; con una extensión de 54.68 % y 45.32 %, en toda el área de la microcuenca. ZAVALETA (1992) menciona que los suelos de textura franca son suelos de textura ideal, porque tiene una mezcla equilibrada de arena, limo y arcilla. Esto supone un equilibrio entre permeabilidad al agua y retención de agua y de nutrientes.

5.2.2. Propiedades químicas

La distribución espacial de mayor extensión con 89.9 % del total de la microcuenca muestra un pH moderadamente ácido en terrazas, seguido de un pH neutro con el 9.74 % en colinas. Esto coincide con VELÁSQUEZ *et al.* (2004) quienes al contrastar los resultados obtenidos en el mapa topográfico y

modelo de elevación generado, determinaron que los suelos menos ácidos se distribuyen en las posiciones medias y bajas, mientras que los suelos más ácidos se encuentran en la parte más alta, coincidiendo con SÁNCHEZ *et al.* (2005) quienes encontraron que el valor de pH más alto se observó en la zona de menor altitud. Esto puede ser explicado debido a que las bases se concentran en las zonas bajas, donde el material es producto de los depósitos o acumulación, que en las zonas altas; asimismo, el nivel de pH moderado en las zonas de montaña se puede haber debido al nivel alto de materia orgánica, precipitación de la zona y los microambientes que se generan. Del mismo modo; el carácter moderadamente ácido de estos suelos hace que sean aptos para el cultivo de café (VALENCIA, 1999).

En la distribución espacial se muestra un nivel medio a alto de contenido de MO, que representan el 100% del área total de la microcuenca; es decir que los suelos presentan abundancia materia orgánica. Estos resultados coinciden con SÁNCHEZ *et al.* (2005) quienes determinaron que el contenido y composición de la MO, así como la actividad microbiológica, están influenciados por la altitud, la cual está asociada a diferencias en la vegetación, temperatura, humedad, precipitaciones y características de estos suelos; asimismo, determinaron que los mayores valores de carbono orgánico (CO), contenido microbiano y respiración basal se observaron en la zona más elevada y los menores, en la zona intermedia

De acuerdo a la distribución espacial el nivel de nitrógeno en la microcuenca es de alta y muy alta con rangos de 0.15 % a 0.25 % y mayor a 25% que representan el 95.9% del total de la microcuenca. Estos altos

contenidos de nitrógeno están asociados a los altos niveles de materia orgánica que se encuentran en la zona; tal como afirma NAVARRO (2003), que la mayor parte del nitrógeno presente en los suelos minerales se encuentra por tanto formando parte de la materia orgánica que en el suelo se deposita a la muerte de los microorganismos y de las plantas que ellos se benefician; asimismo, el nitrógeno puede llegar al suelo gracias a los aportes de materia orgánica y a la fijación bacteriana a partir del aire (FERNÁNDEZ, 2006).

En el mapa de distribución espacial los niveles de fósforo en la microcuenca se encuentran en un nivel adecuado, alto y muy alto, predominando el nivel alto con rango de 15 ppm a 25 ppm haciendo un 88.92% del total de la microcuenca. Estos resultados pueden estar asociados a la presencia del tipo de roca y a la adición de fertilizantes fosfatados en el cultivo de café; tal como lo señala NAVARRO (2003) quien indica que este elemento procede solo de la descomposición de la roca madre durante el proceso de meteorización y al agregado de fertilizantes fosfatados.

El óxido de potasio (K_2O) presenta un nivel de bajo, medio y alto en la microcuenca, predominando un nivel medio con el 92.28 % del total de la microcuenca. Estos niveles de K_2O pueden estar asociados a la incidencia del tipo de formación que se ha tenido en estos suelos; tal como detalla NAVARRO (2003), que indica que este elemento procede de la desintegración y descomposición de las rocas que contienen minerales potásicos y que se halla en la mayoría de los suelos en cantidades relativamente grandes.

La microcuenca “Las Pavas” presenta suelos con un nivel bajo a

medio de capacidad de intercambio catiónico (CIC), predominando el nivel medio equivalente al 98.15% del área total. Estos niveles están asociados al alto contenido de arena y a los bajos niveles de arcilla y limo encontrados en la microcuenca; FASSBENDER (1987) menciona que el CIC aumenta para los suelos de textura fina y disminuyen para suelos de textura gruesa.

Los mapas nos dan como resultado una variación espacial en el contenido y nivel de las propiedades físicas y químicas del suelo de la microcuenca brindando una información útil para la toma de decisiones. Con respecto a los resultados obtenidos, estos se obtuvieron a partir de mapas generados mediante métodos de interpolación spline, que nos generó una mayor uniformidad; para MOOKKEN (2011) una de las ventajas de las funciones splining son que pueden generar superficies suficientemente precisos a partir de sólo unos pocos puntos muestreados y conservan características pequeñas. Esta técnica discrepa con ACEVEDO *et al.* (2008), VÁSQUEZ *et al.* (2010) y AGUILAR *et al.* (2002) quienes usaron el método del Kriging que presupone una correlación espacial entre los datos de la variable, y describe la correlación tanto espacial como temporal entre los valores de un atributo.

5.3. Correlación de las propiedades físicas y químicas del suelo por unidades fisiográficas

Estadísticamente las correlaciones son negativas para las arcillas con arena, limo con arena, hidrógeno con pH y sodio ($p < 0.05$), describiendo que las variables son inversamente proporcionales, donde si una variable se

incrementa la otra variable disminuye. Mientras que el nitrógeno y la materia orgánica, hidrógeno con aluminio, calcio con la CIC presentan correlaciones positivas fuertes.

Para el caso de las fracciones coloidales, el incremento y disminución en el contenido de arcilla, limo y arena varía según tipo de textura que se presenten en el suelo; tal como lo señala SÁNCHEZ (2007), que los suelos presentan una proporción de arena, limo y arcilla. Asimismo, cuando las cantidades relativas del separado menos dominante varían, también varía la clase textural (DONAHUE *et al.*, 1981).

La relación inversa entre el H^+ y el pH es debido al continuo lavado que provoca acidez y a la descomposición de la materia orgánica que dan lugar a que el complejo coloidal del suelo fije gran cantidad de H^+ ; y al producirse la disociación de este hidrógeno, tiende a estar en equilibrio dinámico con la disolución del suelo, esta se enriquece en H^+ y el pH desciende (NAVARRO, 2003).

El nitrógeno está asociado a la cantidad de MO presente en suelo, es por ello que un incremento de MO trae consigo el incremento del nivel de nitrógeno, tal como lo señala NAVARRO (2003) y FERNÁNDEZ (2006), quienes indican que la mayor parte del nitrógeno presente en los suelos minerales se encuentra formando parte de la materia orgánica que en el suelo se deposita a la muerte de los microorganismos y de las plantas que ellos se benefician.

Tanto el hidrógeno y aluminio están íntimamente ligados, debido que ambos forman la acidez cambiabile; es por ello que en los suelo ácidos, sujetos a fuertes precipitaciones (como en la selva y zonas alto andinas) predominan H^+ y Al^{+++} , SÁNCHEZ (2007). Mientras que el incremento en el Ca^{++} conlleva a un incremento del CIC, esto asociado a otros cationes de cambio; tal como indica GUERRERO (2000), que el CIC es suma de todos los cationes de cambio (H^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , k^+ , Na^+ , etc.).

VI. CONCLUSIONES

1. Los suelos de la microcuenca “Las Pavas” presentan una textura franca a franco arenoso, con un pH que varían de fuerte a moderadamente ácidos y neutros, con un contenido medio a alto de materia orgánica, moderado a alto de nitrógeno, alto de fósforo, alto de calcio, moderado de magnesio y moderado a muy bajo de potasio.
2. El mapa de distribución espacial de las propiedades físicas nos muestra que existen áreas homogéneas entre las texturas franco y franco arenoso en toda el área de la microcuenca. Asimismo los mapas de la distribución espacial de las propiedades químicas nos muestra que 89.90% de la microcuenca “Las Pavas” presenta un pH moderadamente ácido, seguido de un pH neutro con 9.74 % y fuertemente ácido con 0.36 %. Asimismo, un 100% presentan un nivel medio a alto de contenido de MO, el nivel de nitrógeno es de alto a muy alto que representa un 95.9 %, los niveles de fósforo es alto con 88.92 %, el óxido de potasio (K_2O) es de nivel medio y alto con un 95.14 % y el CIC cuenta con un nivel medio en un 98.15%.
3. Existe una relación inversamente proporcional entre el contenido de arcillas y arena, limo y arena e hidrógeno con pH y sodio; mientras que el nitrógeno la materia orgánica, hidrógeno con aluminio, calcio con CIC son directamente proporcionales.

VII. RECOMENDACIONES

1. Continuar realizando investigaciones en diferentes microcuencas con la finalidad de generar una base de datos y de esta manera que sirva a los agricultores para que puedan instalar correctamente sus cultivos y en los cultivos establecidos realizar un plan de fertilización.
2. Realizar la evaluación de la distribución espacial de las propiedades físicas y químicas del suelo mediante interpolaciones con los métodos IDW, Kriging, con el fin de elegir el método mejor que represente las propiedades físicas y químicas en esta zona.
3. Realizar un manejo adecuado del suelo, como evitar el uso excesivo de pesticidas, la instalación de cultivos en curvas a nivel para evitar la erosión de suelos, de esta manera mitigar el descenso del pH, debido que esta variable influye en forma decisiva en la disponibilidad de la mayoría de nutrientes, en las propiedades químicas, y biológicas del suelo.

**SPATIAL DISTRIBUTION OF THE PHYSICAL AND CHEMICAL SOIL
PROPERTIES BY THE WATERSHED PHYSIOGRAPHIC UNITS PAVAS,
DISTRICT MARIANO DÁMASO BERAUN - LAS PALMAS**

VIII. ABSTRACT

Currently in the microcuenca “Las Pavas”, exists little production of crops (cacao, coffee, bananas, etc.) due to the unknown characteristics of the properties of the soil. In-order to characterize and interpret the properties physical-chemicals of the soil, it implemented the space distribution for physiography units, it implemented soil samples of 11 physiography units correctly referenced to determine the properties inside the microcuenca and represent it in a space distribution commencing with the use of the geographic information system, linking the evaluated variables. It is characterized and interpreted the behavior of physical-chemicals properties of the soil for physiography units, with predominance of frank textures and sandy frank, pH levels ranging from strong to moderately acid and neutral with a content medium to high of organic material, moderate to high of nitrogen, high in phosphor, high in calcium, moderate in magnesium and moderate to very low in potassium; it's represented cartographically in thematic maps the space distribution for each variable tested. An proportionally opposite relation exists between the content of the clay and sand, “limo” and sand or hydrogen with pH and sodium; meanwhile the nitrogen with the organic material, hydrogen with

aluminum, calcium with CIC are directly proportional. The cartographic representation of the physical and chemical properties of the soils allowed to delimit areas homogeneous of the texture of soils, containing nutrients in present levels of pH in the microcuenca, which generates a source of information to adequately use the soils

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACEBEDO, E., XARRASCO, A., LEON, O., SILVA, P., CASTILLO, G., BORIE, G., MARTINEZ, E., GONZALES, S., AHUMADA, I., 2005. Criterios de calidad del suelo agrícola. [En línea]: USDA, (<http://soils.usda.gov/sqi/> informe, 22 Feb. 2006).
- ACEVEDO, C., ÁLVAREZ, M. E, HERNÁNDEZ, E., MALDONADO, R., PÉREZ, M., CASTRO, R. 2008. Variabilidad espacial de propiedades químicas del suelo y su uso en el diseño de experimentos. Terra Latinoamericana, vol. 26, núm. 4, octubre-diciembre. pp. 317-324
- ACHUY, J. 2006. ArcGis; Manual de sistema de información geográfica. Lima - Perú. Editorial Grupo Universitario S.A.C. 321 p.
- AGUILAR, F., AGUILAR, M., CARVAJAL, F., AGÜERA, F, SÁNCHEZ, P. 2002. Efectos de la morfología del terreno, densidad muestral y métodos de interpolación en la calidad de modelos digitales de elevaciones. In: XIV Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica. Universidad de Almería.
- ALONSO, F. s/d. Sistemas de Información Geográfica. 239 p.
- AZABACHE, L.A. 1991. Fertilidad de suelos. Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo. 06 – 11 p.
- CEPEDA, D. 1991. Química de Suelos. 2 ed. Trillas S.A., México. 167 p.
- CRESSIE, N. 1991. Statistics for spatial data. New York, John Wiley.

- CALZADA, J. 1996. Métodos estadísticos para la investigación. Ed. Jurídica S.A. 3 ed. Lima, Perú. 643 p.
- CHEN, Z. 2000. Relationship between heavy metal concentrations in soils of Taiwan and uptake by crops. [En línea]: (<http://www.ffc.agnet.org/>, 12 Feb. 2006).
- DONAHUE, R., MILLER, R., SCHICKLUNA, J. 1981. Introducción a los suelos y al crecimiento de las plantas. Traducido por Jorge Peña. Prentice-Hall international, Cali, Colombia. 624 p.
- DORAN, J., LINCOLN, N. 1999. Guía para la evaluación de la calidad del suelo. [En línea]: USDA, (<http://soils.usda.gov/sqi>, Documento, 22 Nov. 2005).
- FASSBENDER, H. 1987. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. 2 ed. IICA, San José, Costa Rica. 40 P.
- FELICÍSIMO, A. 1994. Modelos digitales del terreno; Introducción y aplicaciones en las ciencias ambientales. [En línea]: ETSIMO (<http://www.etsimo.uniovi.es/~feli>, documentos, feb. 2014).
- FERNÁNDEZ, R. 2006. Manual de técnicas de análisis de suelos. Instituto Mexicano del petróleo, México D.F.
- FORSYTHE, W. 1975. Física de suelos. Manual de laboratorio. IICA. México.
- GOOVAERTS, P. 1999. Geostatistics in soil science: state of the art and perspectives. Geoderma 89 (1-2): 1- 45 p.
- GUERRERO, J. 2000. El suelo, los abonos y la fertilización de los cultivos. 2 ed. Aedos. S.A., España.

- HENRÍQUEZ, C., KILLORN, R., BERTSCH, F., SANCHO, F. 2005. La geoestadística en el estudio de la variación espacial de la fertilidad del suelo mediante el uso del interpolador kriging. *Agronomía Costarricense*. Vol. 29 (2): 73 - 81 p.
- HOLDRIGE, L. 1986. *Ecología basada en zonas de vida*. San José, Costa Rica, IICA. 216 p.
- IQBAL, J., THOMASSON, J., JENKINS, J., OWENS, P., WHISLER, F. 2005. Spatial variability analysis of soil physical properties of alluvial soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 69: 1338-1350 p.
- JARAMILLO, D. 2012. *Variabilidad especial del suelo base para su estudio*. Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín.
- KARLEN, L., MAUSBACH, M., DORAN, J., CLINE, F., HARRIS, E. 1997. Soil quality: A concept, definition, and framework for evaluation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61:4–10.
- McBRATNEY, A. B., MEDONCA SANTOS, M. L., MINASNY, B. 2003. On digital soil Maing. *Geoderma* 117: 3-52 p.
- MINAG. 2011. *Cadena agropecuaria de papa. Manejo y fertilidad de suelos. Guía técnica de orientación al productor*. 50 p.
- MOOKKEN, M., JOY. P.M., NARAYANAN, N. 2011. Analysis of spatial variation of ambient air temperatura. [En línea]. *Geospatial world*. (<http://geospatialworld.net/Paper/Technology/ArticleView.aspx?aid=2501>, documento 25 de enero 2016)
- NAVARRO, G. 2003. *Química agrícola. El suelo y los elementos químicos esenciales en la vida vegetal*. 2 ed. Mundi Prensa, España.

- PLASTER, E. 2000. La ciencia del suelo y su manejo. Ed Paraninfo. Madrid - España. 419 p.
- RODRIGUEZ, A. 1984. El Territorio como Condicionante de Habitabilidad: Aportes para un modelo conceptual en Arquitectos. 250 p.
- ROMERO, N., RÍOS, M., BARRIOS, L. 2004. Caracterización química de los suelos en los tramos altos y medio de la cuenca del río Maracay, estado Aragua, con fines didácticos. Revista Paradigma. UPEL-IPMar. Volumen XXV, Nº 1, Junio 2004. Maracay-Aragua.
- ROSSITER, D. G. 2005. Digital Soil Maing: towards a multiple use of Soil Information System. Semana de la Geomántica 2005. Santa Fe de Bogotá, Colombia.
- SÁNCHEZ, B., RUIZ, M., RIOS, M. 2005. Materia orgánica y actividad biológica del suelo en relación con la altitud, en la cuenca del río Maracay, estado Aragua. Venezuela. Agronomía Trop. 55(4): 507-534.
- SÁNCHEZ, J. 2007. Fertilidad de suelos y nutrición mineral de plantas. FERTITEC S.A. 19 p.
- SÁNCHEZ, P. 1981. Suelos del Trópico Características y Manejo. Traducido por Edilberto Camacho, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, San José, Costa Rica. 634 p.
- SANZANO, A. 2001. Química del suelo. El potasio del suelo. [En línea]: Edafología, (<http://www.edafologia.com.ar/Descargas/Cartillas/El%20potasio%20del%20Suelo.pdf>).

- SERRADA, R. 2008. Apuntes de Selvicultura; Influencia de los factores ecológicos en la vegetación. Servicio de Publicaciones. EUIT Forestal. Madrid, España. 94- 96 p.
- SOIL SURVEY STAFF. 1993. Soil survey manual. United States Department of Agriculture. Hnbk no. 18 U.S. Gov. Printing Office, Washington, DC.
- VALBUENA, C., MARTINEZ, L., GIRALDO, R. 2007. Variabilidad espacial de la fertilidad del suelo y el rendimiento en un cultivo de mango (*Mangifera indica* L.) localizado en la Mesa Cundinamarca. Semana Geomática Colombia.
- VALENCIA, A. 1999. Fisiología y nutrición del cafeto. CENICAFE. Chinchiná. 94 p.
- VARGAS, R. 2009. Mapeo digital del suelo y su evaluación con fines de producción de caña de azúcar en los municipios de Ixiamas y San Buenaventura. Conservación Internacional Bolivia y Conservación Estratégica. 140 p.
- VELÁSQUEZ, J., OCHOA, G., OBALLOS, J., MANRIQUE, J., SANTIAGO, J. 2004. Metodología para la delineación cartográfica de suelos. Rev. For. Lat. 36/2004. 15 – 34 pp.
- WEBSTER, R., BURGESS, T. M. 1980. Optimal interpolation and isarithmic Maing of soil properties. III.Changing drift and Universal Kriging.” European Journal of Soil Science 31(3): 505-524.
- WILDING, L. P., DREES, L. R. 1983. Spatial variability and pedology. Pedogenesis and soil taxonomy: concepts and interactios. Amsterdam, The Netherlands, Oxford University Press.

ZAVALETA, G. 1992. Edafología. El suelo en relación con la producción. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Lima, Perú. 233 p.

ANEXO

Anexo 1. Análisis de suelos



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA TINGO MARIA

Facultad de Agronomía – Laboratorio de Análisis de Suelos
analisisdesuelosunas@hotmail.com

ANALISIS DE SUELOS



SOLICITANTE: SOTO RIOS ANA CLAUDIA

PROCEDENCIA: MICROCUENCA LAS PAVAS

DESCRIPCION	Hz	ANALISIS MECANICO				pH	M.O.	N	P	K ₂ O	CIC	CAMBIABLES Cmol(+)/kg						CICe	Coordenadas WGS 1984	Coordenada WGS 1984
		Arena	Arcilla	Limo	Textura							1:1	%	%	ppm	kg/ha	Ca			
		%	%	%		Este	Norte													
TMP	A	63.68	11.04	15.28	Arenoso franco	6.95	5.42	0.24	32.74	516.77	21.89	12.30	3.57	0.14	0.21	0.00	0.00		394401.8	8962190
Lo	A	35.68	21.04	43.28	Franco	5.57	2.60	0.12	19.43	199.02	8.00	14.90	3.57	0.00	0.00	0.33	0.06		394548	8963378
TBI	A	67.86	7.04	25.28	Franco Arenoso	5.51	3.68	0.17	8.44	190.54		22.32	1.97	0.00	0.00	0.25	0.04	31.21	394656	8962545
CAFD	A	45.68	15.04	39.28	Franco	6.92	6.50	0.29	42.00	166.96	17.41	20.44	1.33	0.08	0.22	0.00	0.00		393076.6	8964327
CAMD	A	51.68	17.04	31.28	Franco	5.34	4.77	0.21	5.55	225.13		10.48	2.05	0.00	0.00	0.25	0.14	14.20	394523.8	8962237
CBFD	A	57.68	13.04	29.28	Franco Arenoso	6.62	6.50	0.29	13.65	438.50	14.62	13.80	2.87	0.10	0.27	0.00	0.00		392989.2	8963937
CALD	A	37.68	19.04	43.28	Franco	7.09	3.47	0.16	38.24	137.41	18.18	15.45	1.60	0.06	0.28	0.00	0.00	—	396737.9	8963387
TAO	A	46.68	25.04	29.28	Franco	6.20	5.37	0.24	12.53	557.86	15.22	12.34	2.20	0.32	0.37	0.00	0.00	—	397433	8963206
TAP	A	61.68	7.04	31.28	Franco Arenoso	7.00	2.30	0.10	9.00	1146.18	17.4	12.73	4.00	0.42	0.25	0.00	0.00	—	395597.9	8963312
MB	A	53.68	11.04	35.28	Franco Arenoso	5.48	4.22	0.19	13.49	328.61		3.95	1.75	0.00	0.00	0.17	0.13	6.00	396202.5	8961595
MA	A	57.68	13.04	29.28	Franco Arenoso	5.34	5.76	0.26	23.54	353.79		7.73	2.19	0.00	0.00	0.25	0.04	10.22	400218.3	8965225

FECHA: 12/01/2015
RECIBO N° 402721
MUESTREADO POR EL SOLICITANTE



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
LAB ANALISIS DE SUELOS
M.Sc. Bgo. Miguel Huayra Rojas
JEFE

Anexo 2. Cuadro de distribución espacial de las propiedades físicas y químicas de los suelos de microcuenca “Las Pavas”.

Cuadro 13. Distribución espacial de textura en los suelos de la microcuenca “Las Pavas”

Textura	Fisiografía	Por unidad fisiografía		Según rangos	
		Área (ha)	Porcentaje	Área (ha)	Porcentaje
Franco	CAFD	104.35	4.77%	2186.94	54.68%
	CALD	44.06	2.01%		
	CAMD	296.53	13.56%		
	CBLD	28.19	1.29%		
	CBMD	30.06	1.37%		
	L	20.49	0.94%		
	MAP	6.07	0.28%		
	MBP	1300.84	59.48%		
	TAO	263.98	12.07%		
	TAP	83.05	3.80%		
	TMP	8.99	0.41%		
Franco arenoso	CAFD	74.81	8.98%	1812.31	45.32%
	CALD	30.30	1.67%		
	CAMD	125.23	6.91%		
	CBMD	13.39	0.74%		

MAP	592.98	32.72%	
MBP	813.95	44.91%	
TAO	115.90	6.40%	
TAP	38.15	2.10%	
TMP	7.11	0.39%	
Área Total	3999.25	3999.25	100%

Cuadro 14. Distribución espacial de pH en los suelos de la microcuenca “Las Pavas” por unidades fisiográficas

Rango	Descripción	Fisiografía	Por unidad fisiográfica		Según rangos	
			Área (ha)	Porcentaje	Área (ha)	Porcentaje
4.6 - 5.4	Fuertemente ácido	CAMD	0.22	1.56%	14.28	0.36%
		MAP	14.03	98.30%		
5.5 - 6.5	Moderadamente ácido	CAFD	74.42	2.07%	3595.25	89.90%
		CALD	55.18	1.53%		
		CAMD	360.81	10.04%		
		CBLD	28.19	0.78%		
		CBMD	23.08	0.64%		
		L	20.49	0.57%		
		MAP	585.01	16.27%		
		MBP	1962.43	54.58%		

		TAO	353.77	9.84%		
		TAP	115.04	3.20%		
		TMP	16.10	0.45%		
		CAFD	75.18	19.29%		
		CAFD	29.54	7.58%		
		CALD	19.18	4.92%		
		CAMD	5.17	1.33%		
		CAMD	51.89	13.31%		
6.6 - 7.3	Neutro	CAMD	3.70	0.95%	389.72	9.74%
		CBMD	20.37	5.23%		
		MBP	2.86	0.73%		
		MBP	149.50	38.36%		
		TAO	26.11	6.70%		
		TAP	6.16	1.58%		
Área total			3999.25		3999.25	100.00%

Cuadro 15. Distribución espacial de contenido de materia orgánica en los suelos de la microcuenca “Las Pavas” por unidades fisiográficas

Rango (%)	Descripción	Fisiografía	Por unidad fisiográfica		Según rangos	
			Área (ha)	Porcentaje	Área (ha)	Porcentaje
2 - 4	Medio	CAFD	49.45	8.25%	599.60	14.99%

		CALD	63.72	10.63%		
		L	20.49	3.42%		
		MB	244.34	40.75%		
		TAO	25.83	4.31%		
		TMP	16.10	2.69%		
		CAFD	0.88	0.03%		
		CAFD	129.69	3.81%		
		CAFD	0.00	0.00%		
		CAMD	261.86	7.70%		
> 4	Alto	CBLD	9.05	0.27%	3399.64	85.01%
		CBMD	43.25	1.27%		
		CBMD	0.00	0.00%		
		MB	1869.99	55.01%		
		TAO	354.00	10.41%		
Área total			3999.25		3999.25	100%

Cuadro 16. Distribución espacial de contenido de nitrógeno en los suelos de la microcuenca “Las Pavas” por unidades fisiográficas

Rango (%)	Descripción	Fisiografía	Por unidad fisiográfica		Según rangos	
			Área (ha)	Porcentaje	Área (ha)	Porcentaje
0.10 - 0.15	Moderada	CAFD	31.31	19.09%	164.04	4.10%
		CALD	16.66	10.16%		
		CAMD	58.94	35.93%		
		CBLD	4.56	2.78%		
		L	13.10	7.99%		
		MB	30.30	18.47%		
		TAO	3.27	1.99%		
		TMP	5.90	3.60%		
0.15 – 0.25	Alta	CAFD	77.87	2.11%	3689.72	92.26%
		CALD	57.70	1.56%		
		CAMD	362.81	9.8%		
		CBLD	23.63	0.64%		
		CBMD	24.16	0.65%		
		L	7.38	0.20%		
		MA	546.69	14.82%		
		MB	2080.74	56.39%		
		TAO	376.61	10.21%		
		TAP	121.20	3.28%		

		TMP	10.20	0.28%		
		CAFD	69.97	48.10%		
		CAFD	0.00	0.00%		
>0.25	Muy alta	CBMD	19.28	13.25%	145.48	3.64%
		CBMD	0.00	0.00%		
		MA	52.36	35.99%		
		MB	3.75	2.58%		
Área total			3999.25		3999.25	100.00%

Cuadro 17. Distribución espacial de contenido de fósforo en los suelos de la microcuenca “Las Pavas” por unidades fisiográficas

Rango ppm	Descripción	Fisiografía	Por unidad fisiográfica		Según rangos	
			Área (ha)	Porcentaje	Área (ha)	Porcentaje
		CAMD	0.32	0.12%		
		CAFD	36.82	13.72%		
		CALD	24.55	9.15%		
7 – 15	Bajo	CAMD	84.57	31.51%	268.43	6.71%
		MB	98.76	36.79%		
		TAO	8.47	3.15%		
		TAP	6.94	2.59%		
		TMP	8.00	2.98%		
15 – 25	Normal	CAFD	83.52	2.35%	3556.16	88.92%

Cuadro 18. Distribución espacial de los suelos con óxido de potasio en la microcuenca “Las Pavas” por unidades fisiográficas

Rango (kg/ha)	Descripción	Fisiografía	Por unidad fisiográfica		Según rangos	
			Área (ha)	Porcentaje	Área (ha)	Porcentaje
< 300	Muy baja	CAFD	57.67	29.68%	194.32	4.86%
		CALD	34.35	17.68%		
		CAMD	50.36	25.92%		
		CBLD	5.40	2.78%		
		CBMD	6.26	3.22%		
		L	10.93	5.62%		
		MB	17.59	9.05%		
		TMP	11.73	6.04%		
300 – 600	Medio	CAFD	90.48	2.45%	3690.61	92.28%
		CALD	30.40	0.82%		
		CAMD	340.71	9.23%		
		CBLD	22.78	0.62%		
		CBMD	37.18	1.01%		
		L	9.56	0.26%		
		MA	599.05	16.23%		
		MB	2058.94	55.79%		

		TAO	375.14	10.16%		
		TAP	121.20	3.28%		
		TMP	4.37	0.12%		
		CAFD	31.01	27.13%		
		CALD	9.61	8.41%		
> 600	Alto	CAMD	30.69	26.85%	114.31	2.86%
		MB	38.26	33.47%		
		TAO	4.74	4.15%		
Área total			3999.25		3999.25	100%

Cuadro 19. Distribución espacial de la CIC en los suelos en la microcuenca “Las Pavas” por unidades fisiográficas

Rango			Por unidad fisiográfica		Según rangos	
(Cmol+)/kg	Descripción	Fisiografía	Área (ha)	Porcentaje	Área (ha)	Porcentaje
6 – 12	Bajo	CAFD	3.27	4.41%	74.14	1.85%
		CALD	11.49	15.50%		
		CAMD	24.55	33.12%		
		CBLD	9.20	12.42%		
		L	18.09	24.40%		
		TMP	7.53	10.15%		
12 – 25	Medio	CAFD	175.88	4.48%	3925.10	98.15%

CALD	62.82	1.60%		
CAMD	397.22	10.12%		
CBLD	18.98	0.48%		
CBMD	43.44	1.11%		
L	2.39	0.06%		
MA	599.07	15.26%		
MB	2114.76	53.88%		
TAO	379.88	9.68%		
TAP	121.20	3.09%		
TMP	8.57	0.22%		
Área total	3999.25		3999.25	100%

Anexo 3. Panel fotográfico



Figura 19. Muestreo de suelos en la parte alta de la microcuenca “Las Pavas”



Figura 20. Georreferenciación de la unidad muestral de la microcuenca “Las Pavas”.



Figura 21. Muestreo de suelos en la unidad fisiográfica (colina baja).



Figura 22. Georreferenciación del punto de muestreo (montaña alta).