

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES



**DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS PROPIEDADES FÍSICO QUÍMICAS DEL
SUELO DE LOS PALMICULTORES DE SHAMBILLO**

Tesis

Para optar el título de:

INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES MENCIÓN

CONSERVACIÓN SUELOS Y AGUA

VILLACORTA JARA, SUSANA

Tingo María – Perú

2014

DEDICATORIA

A Dios, porque el Señor es mi luz y
mi salvación. Él es mi protección

A mis padres, Deysi Jara Arce y
Zósimo Villacorta Otárola, por el
amor incondicional que siempre me
han dado, por sus consejos y por
sus grandes esfuerzos que hicieron
posible mi formación como
profesional

A mi hermano Daniel Villacorta Jara
por su apoyo y palabras de aliento,
a mi prima María Esther Del Campo
Funegra por su confianza, constante
cariño

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 que quienes entregaron todos sus conocimientos y experiencias en bien de formar buenos profesionales.

Al Ing. Hugo Alfredo Huamaní Yupanqui por su apoyo desinteresado e invaluable como asesor para realizar este trabajo de investigación. Muchas gracias por su paciencia, confianza y dedicación.

A la CPC. María Esther del Campo Funegra Gerente General de OLPASA. y sus trabajadores por la acogida y apoyo logístico que me brindaron en todo momento para la realización de este trabajo de investigación.

A mis amigos Roy Suarez Vela, Fernando Oré Díaz, Oscar Anaya Fernández, Wilder Trujillo Salas, Jaqueline López Trigozo, y Karoll Mayca Zegarra quienes

comparten conmigo una amistad genuina, fueron mi apoyo durante la ejecución del presente trabajo.

RESUMEN

Palabras clave: Distribución espacial, geoestadística, Interpolación, materia orgánica nitrógeno, suelos.

Con la finalidad de analizar e interpretar la distribución espacial de las propiedades físicas y químicas de los suelos del cultivo de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jaq) de la Asociación de Palmicultores de Shambillo (ASPASH). La investigación ha tenido lugar en el distrito Padre Abad, provincia Padre Abad y región Ucayali. Se recolectó 150 muestras de suelos a las cuales se determinaron los indicadores por los métodos mencionados por VÁZQUEZ (1997), a partir de los datos que se ha obtenido de los análisis de laboratorio y mediante la interpolación de la herramienta kringin basada en la geoestadística, permitieron estudiar las características de suelos y mapear el comportamiento mediante el programa ArcGis 9.2. Se interpretó que los suelos con *E. guineensis* Jaq presentan niveles muy variables en cuanto al contenido de materia orgánica y nitrógeno, el 54% del área están en el rango 3.305 a 3.820; en cambio el 43% presenta niveles bajos de fósforo y niveles bajos de potasio, de manera general consideramos a estos suelos como poco fértiles; la clase textural franco se determinó en un 62%, mientras que el franco arenoso alcanzó un 36.67% de las muestras. Se logró interpretar las diferentes propiedades del suelo en los diferentes mapas temáticos de acuerdo a su distribución espacial de cada componente. La relación del rendimiento y las propiedades del suelo se expresa por la siguiente ecuación de la forma:

$$\text{Rendimiento (Kg/Ha)} = - 407.955 + 0.001 L + 3.249 \text{ pH.}$$

ÍNDICE GENERAL

	Página
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. Mapeo o cartografía digital del suelo	4
2.2. Palma aceitera (<i>Elaeis guineensis</i> Jaq).....	9
2.3. Propiedades físicas del suelo	10
2.3.1. Textura del suelo	10
2.3.2. Clase textural.....	11
2.4. Propiedades químicas del suelo.....	13
2.4.1. Reacción del suelo	13
2.4.2. El pH.....	13
2.4.3. Escala del pH	14
2.4.4. Factores que afectan el pH.....	15
2.5. Materia orgánica	16
2.5.1. Niveles de materia orgánica	17
2.6. Capacidad de intercambio catiónico.....	18
2.6.1. Capacidad de intercambio catiónico en los suelos.....	18

2.6.2. Factores de CIC.....	19
2.6.3. Importancia de la capacidad de cambio.....	20
2.7. Nutrientes.....	21
2.7.1. El fósforo en el suelo	22
2.7.2. El potasio en el suelo.....	23
2.8. Estudio de suelo.....	23
2.8.1. Partes del estudio	24
2.8.2. Mapa de suelo	24
2.8.3. Unidades de mapeo.....	24
2.8.4. Levantamiento de suelos	25
2.8.5. Modelo de mapa	25
2.8.6. Modelo digital del terreno (MDT).....	25
2.9. Distribución espacial	26
2.10. Trabajos anteriores relacionados	27
III. MATERIALES Y MÉTODOS	31
3.1. Características generales del área de estudio.....	31
3.1.1. Ubicación.....	31
3.1.2. Fisiografía.....	31

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. Análisis estadístico	37
IV. RESULTADOS	38
4.1. Interpretación de las propiedades físicas y químicas en suelos con cultivo de palma aceitera de la ASPASH	38
4.2. Distribución espacial de las propiedades físicas y químicas de los suelos del cultivo de palma aceitera de la ASPASH	41
4.2.1. Contenido de arena	41
4.2.2. Contenido de limo	43
4.2.3. Contenido de arcilla	45
4.2.4. Nitrógeno	47
4.2.5. Materia orgánica	49
4.2.6. Fósforo	51
4.2.7. Oxido de Potasio	53
4.2.8. Aluminio	55
4.2.9. Calcio	57

4.2.10. Magnesio	59
4.2.11. Capacidad de intercambio catiónico.....	61
4.2.12. pH.....	63
4.3. Correlación entre el contenido de nutrientes y el rendimiento	65
V. DISCUSIÓN	67
5.1. Propiedades físicas y químicas en suelos con cultivo de palma aceitera de la ASPASH.....	67
5.2. Distribución espacial de algunas propiedades físicas y químicas de los suelos del Cultivo de Palma Aceitera de la ASPASH	69
5.2.1. Propiedades físicas (arena, limo y arcilla).....	69
5.2.2. Propiedades químicas	70
5.3. Correlación entre las propiedades del suelo y el rendimiento de palma aceitera (<i>Elaeis guineensis</i> Jaq) de la ASPASH	72
VI. CONCLUSIONES.....	73
VII. RECOMENDACIONES.....	74
VIII. ABSTRACT	75
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76
ANEXO.....	82

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
1. Agrupamiento general de las clases texturales.....	12
2. Niveles de pH del suelo.....	15
3. Niveles de la materia orgánica.	17
4. Niveles de la capacidad de intercambio catiónico (pH > 5.5).....	20
5. Niveles de la capacidad de intercambio catiónico (pH < 5.5).....	21
6. Niveles de contenido de fósforo (Método de Olsen).	22
7. Niveles de contenido de potasio.	23
8. Indicadores de suelos y métodos de determinación.	35
9. Contenido de nutrientes en los suelos con cultivos de palma de la ASPASH.....	40
10. Distribución porcentual de áreas con rangos de arena en suelos con cultivo de palma aceitera de la ASPASH.	41
11. Distribución porcentual de áreas con rangos de limo en suelos con cultivo de palma aceitera de la ASPASH.	43
12. Distribución porcentual de áreas con rangos de arcilla en suelos con cultivo de palma aceitera de la ASPASH.	45
13. Distribución porcentual de áreas con rangos de aluminio en suelos con cultivo de palma aceitera de la ASPASH.	55
14. Distribución porcentual de áreas con rangos de calcio en suelos con cultivo de palma aceitera de la ASPASH.	57
15. Distribución porcentual de áreas con capacidad de intercambio catiónico en suelos con cultivo de palma aceitera de la ASPASH.	61

16.	Distribución porcentual de áreas con rangos de fósforo en suelos con cultivo de palma aceitera de la ASPASH.	51
17.	Distribución porcentual de áreas con rangos de magnesio en suelos con cultivo de palma aceitera de la ASPASH.	59
18.	Distribución porcentual de áreas con rangos de nitrógeno en suelos con cultivo de palma aceitera de la ASPASH.	47
19.	Distribución porcentual de áreas con rangos de potasio en suelos con cultivo de palma aceitera de la ASPASH.	53
20.	Distribución porcentual de áreas con rangos de pH en suelos con cultivo de palma aceitera de la ASPASH.	63
21.	Correlación de Pearson generada por las variables registradas.	65
22.	Análisis de varianza de la correlación entre la producción de palma aceitera con la coordenada Este y el pH del suelo.....	65
23.	Datos registrados de los palmicultores de la ASPASH.	83

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
1. Error por comisión en el levantamiento de suelos convencional.	6
2. Error por atributo en el levantamiento de suelos convencional.	8
3. Mapa de ubicación de la microcuenca Shambillo.	32
4. Distribución espacial de la arena en la microcuenca Shambillo.	42
5. Distribución espacial de limo en la microcuenca Shambillo.	44
6. Distribución espacial de la arcilla en la microcuenca Shambillo.	46
7. Mapa de la distribución espacial del nitrógeno en la microcuenca Shambillo.	48
8. Mapa de la distribución espacial de la materia orgánica en la microcuenca Shambillo.	50
9. Mapa de la distribución espacial del fósforo en la microcuenca Shambillo.	52
10. Mapa de la distribución espacial del óxido de potasio en la microcuenca Shambillo.	54
11. Mapa de la distribución espacial del aluminio en la microcuenca Shambillo.	56
12. Mapa de la distribución espacial del calcio en la microcuenca Shambillo.	58

13. Mapa de la distribución espacial del magnesio en la microcuenca Shambillo.	60
14. Mapa de la distribución espacial de la capacidad del intercambio catiónico en la microcuenca Shambillo.....	62
15. Mapa de la distribución espacial del pH en la microcuenca Shambillo.	64
16. Planta de palma aceitera.	93
17. Plantación de palma aceitera.	94
18. Georreferenciación de una plantación.	94
19. Muestreo de suelos.	94
20. Colecta de muestras de suelos.....	95
21. Palma aceitera con síntomas de marchitez.	95

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 que 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.

Los análisis de laboratorio constituyen un medio para realizar un inventario del estado químico de los suelos y para determinar el tratamiento que se necesita. La información obtenida por el análisis físico – químico del suelo, junto con la evaluación de las necesidades del cultivo concreto, orientan para determinar las cantidades que se requerirán de los diferentes nutrientes, así como de las posibles enmiendas del suelo (GUERRERO, 2000).

La utilización de los sistemas de información geográfica (SIG) en diversos campos del quehacer humano, se ha incrementado en los últimos años demostrando ser una herramienta muy útil en la toma de decisiones. En la agricultura tiene gran aplicabilidad en el área de contaminación de suelos,

fertilidad y manejo de suelos, 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 interpolaciones (HENRÍQUEZ *et al.*, 2005).

Debido a esto se propone efectuar el análisis e interpretación de la distribución espacial del suelo de algunas propiedades físicas y químicas de los suelos del cultivo de Palma Aceitera de la Asociación de Palmicultores de Shambillo (ASPASH), mediante análisis en laboratorio de suelos e imágenes satelitales y georeferenciadas en distintos puntos de la zona de Shambillo y así poder determinar el estado actual del suelo.

Se formuló el siguiente problema de investigación ¿La distribución espacial de las propiedades físicas y químicas del suelo permitirá determinar la calidad de los suelos de los palmicultores de Shambillo? Con referencia a esto planteamos la siguiente hipótesis: La distribución espacial de las propiedades físicas y químicas permitirán analizar y determinar la calidad de los suelos de los palmicultores de Shambillo.

Objetivo general

- Analizar e interpretar la distribución espacial de las propiedades físicas químicas del suelo de los pamicultores de Shambillo.

Objetivos específicos

- Caracterizar e interpretar las propiedades físicas y químicas de los suelos del cultivo de palma aceitera de la ASPASH, Aguaytía – Ucayali.
- Representar a través de la distribución espacial las propiedades físicas y químicas de los suelos del cultivo de palma aceitera de la ASPASH, Aguaytía – Ucayali.
- Relacionar la producción de palma con el análisis de nutrientes en las muestras de suelo del cultivo de palma aceitera de la Asociación de Palmicultores de Shambillo.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. 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).

Existe una demanda creciente de geo-información de suelos, cada vez a escalas más grandes y con un enfoque más cuantitativo, por tanto, el desarrollo de herramientas y enfoques modernos generan un escenario potencial para brindar información de suelos más rápida, objetiva y que represente con mayor precisión la real variabilidad de este recurso y sus propiedades.

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 SOLIM (2004) 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-clasepolígono”, que constituyen la principal fuente de información en la distribución espacial de las propiedades edáficas.

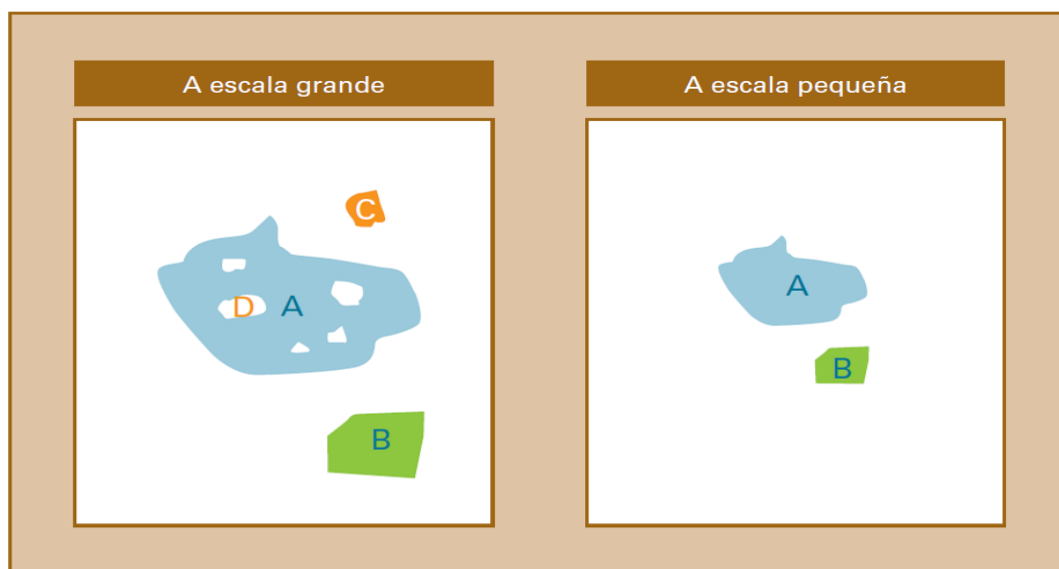
ZHU (2001b) indica que en la generación de geo-información de suelos según el método convencional, el área de un polígono suelo es asignada con los valores de la propiedad del tipo de suelo identificado y descrito sin importar que éste se refiera a un solo perfil modal para todo el polígono.

La información generada respecto a las propiedades del suelo trae consigo aspectos negativos que limitan su correcta utilización y que han generado la inquietud de edafólogos tecnócratas para desarrollar técnicas que solucionen estos problemas. ZHU (2001a) indica que existen limitaciones del modelo convencional, principalmente: que es ineficiente en cuanto a costos (un levantamiento convencional de suelos es demasiado caro), a tiempo (para realizar un levantamiento de suelos siguiendo este método, se requiere de

mucho tiempo por las fases propias del levantamiento) y a errores técnicos: por comisión y de atributo.

Los errores por comisión (Figura 1) ocurren cuando se establece la mínima unidad de mapeo de acuerdo a la escala de trabajo definida en el levantamiento de suelos; áreas representando a tipos de suelo menores a la mínima unidad de mapeo son filtradas o eliminadas. Es decir, se elimina la variabilidad real de los suelos por conceptos cartográficos y no temáticos como debería ser.

Las unidades de suelo D y C a escala de mapeo grande desaparecerán o se unirán a la unidad "A" a escala de mapeo pequeña.



Fuente: Xhu *et al.* (1996).

Figura 1. Error por comisión en el levantamiento de suelos convencional.

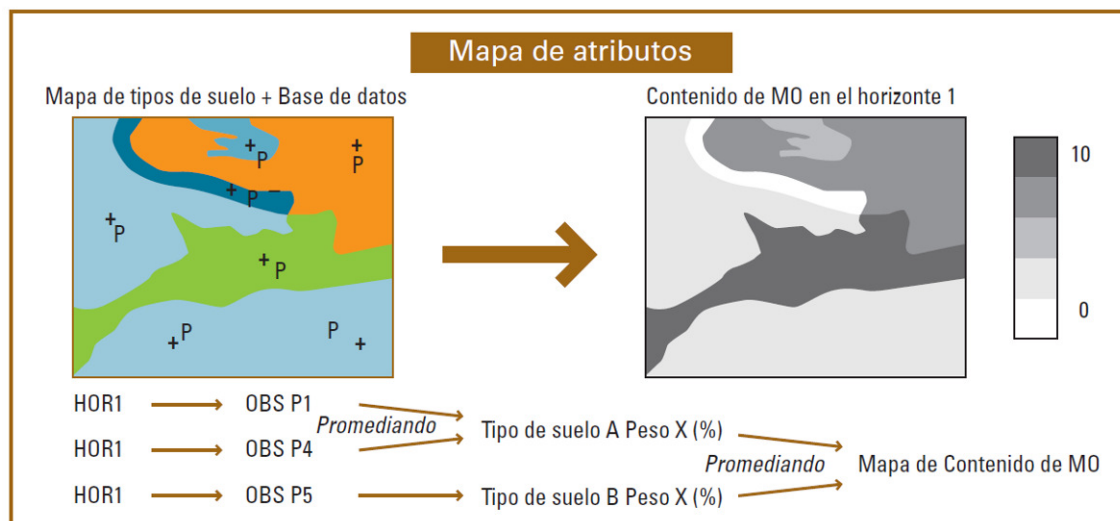
El error por atributo (Figura 2), está relacionado a que dentro de un polígono, la información edáfica es representativa del cuerpo de suelo

dominante (perfil modal) y no así de la variación espacial real de las propiedades del suelo. Los suelos dentro de un polígono son considerados los mismos y los cambios sólo se dan en los límites entre polígonos. Por tanto, la variación espacial de las propiedades del suelo dentro de un mapa tipo “área-clase-polígono” no se mantiene en la base de datos de un SIG.

Además de los errores descritos anteriormente, se cometería una gran omisión al no citar la principal causa de error o diferencia con estudios de suelo siguiendo el “método convencional” para una misma área geográfica; esta es la subjetividad en la foto-interpretación. Como dijimos, el edafólogo debe generar un modelo mental de la relación suelo-paisaje, es decir, encontrar áreas homogéneas en cuanto a ambos componentes. Por tanto, esta interpretación no es objetiva ya que la interpretación es la capacidad que tiene cada profesional para identificar esas unidades, por lo que su conceptualización varía, de ahí que este enfoque sea puramente cualitativo y que esté totalmente basado en la habilidad y experiencia del profesional.

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.



Fuente: HENGL y ROSSITER (2003).

Figura 2. Error por atributo en el levantamiento de suelos convencional.

La variabilidad espacial de la 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 geoestadísticos 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 Geoestadística, 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).

Luego de las primeras aplicaciones de la Geoestadística a datos edafológicos en la década de los 80 (WEBSTER y BURGESS, 1980), se popularizó el uso de los métodos geoestadísticos aplicados a la ciencia del suelo, como se ha evidenciado con el incremento de estudios reportados en la literatura (GOOVAERTS, 1999).

Según WILDING y DREES (1983), los pedólogos deben estudiar la variabilidad espacial con el fin de representar de una forma más adecuada, real y precisa el suelo y sus propiedades.

2.2. Palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq)

La palma aceitera es una planta perenne tropical que presenta una alta habilidad para interceptar la energía solar y transformarla en aceite vegetal. El nombre científico le fue dado por Jacquin en 1763, en base a la palabra *elaion* que significa aceite; y *guineensis*, que hace honor a la región de Guinea de donde se considera originaria.

La palma representa una alternativa de excelente perspectivas. Este cultivo produce 10 veces más del rendimiento de aceite proporcionado por la mayoría de los otros cultivos oleaginosos y con materiales genéticos más recientes la diferencia en rendimiento es cada vez mayor y los problemas de

salud achacados a las grasas hidrogenadas tendrán que abrirle paso al aceite de palma para la fabricación de productos a base de origen vegetal.

Esta planta produce dos importantes aceites: (1) aceite de palma, el que es blando y se utiliza extensamente en oleomargarina, manteca y grasas para la cocina y en la fabricación industrial de muchos otros productos para la alimentación humana, y (2), aceite de almendra de palma (palmiste) el que posee un alto contenido de ácido láurico y el cual a su vez produce jabones de excelente espuma y además los productos arriba mencionados, también los aceites vegetales están siendo transformados en muchos otros productos para uso técnico como: biocarburantes y aceites biológicas naturales.

GONZALES (2008) menciona que la palma requiere suelos con pH entre 4.5 hasta 7.8, y crece a una altitud desde 700 hasta 3 msnm; por otra parte REYES *et al.* (2005) indican que la palma de aceite incrementa la extracción de nutrimentos después del primer año de transplante y los más requeridos son: K>N>S>Ca>Mg>P>Fe>Mn>Zn>Cu>B.

2.3. Propiedades físicas del suelo

2.3.1. Textura del suelo

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), grava (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 (ZAVALETA, 1992).

$$\% \text{ Arena} + \% \text{ Limo} + \% \text{ Arcilla} = 100 \%$$

2.3.2. 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).

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
suelos de textura moderadamente fina	Franco Arcilloso	
	Franco Arcillo Arenoso	
	Franco Arcillo Limoso	
Arcilloso	suelos de textura fina	Arcillo-Arenoso
		Arcillo-Limoso
		Arcilloso

Fuente: BUCKMAN (1985).

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.

2.4. 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 (CEPEDA, 1999).

2.4.1. 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 (FASBENDER, 1987).

2.4.2. El pH

El pH expresa la cantidad de iones (H^+) en suelos como también en solución acuosa es normalmente una fracción muy pequeña de una equivalente, por litro, se ideó la escala de pH como el logaritmo del recíproco

(logaritmo negativo) de la actividad de los iones H^+ en la solución representándose este valor mediante la ecuación:

$$pH = \log. 1/ (H^+)$$

Es la medición electroquímica de la concentración efectiva de los iones H^+ y OH^- de la solución suelo, por medio de un electrodo, inmerso en la suspensión suelo/agua (AREVALO y SANCO, 2002). A $pH = 7$ la concentración de iones de H^+ es igual a la concentración efectiva de los iones OH^- ; un cambio de pH indica cambio en la concentración de iones H^+ y OH^- . Un pH menor que 7 indica que la concentración es ácida y es alcalina si el pH de la solución es mayor que 7 (CEPEDA, 1991 y ZAVALETA, 1992).

2.4.3. Escala del pH

La escala de pH va desde valores 0 a 14, pero en los suelos se han encontrado valores entre 3.5 y 10, el Cuadro 3, 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).

EL pH óptimo para el desarrollo de las plantas está dado entre los valores de pH de 6.5 y 7.5 pH mayores o menores a este rango traerán consigo problemas por toxicidad. Los suelos que se encuentran en la gama de pH 5.8 a 7.5 tienen más probabilidades de dar problemas que aquellos que tienen los valores altos o bajos. Los que presentan pH menores o igual a 5.0, indican que

tienen deficiencia en elementos como: Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} o como también pueden tener elementos que estén volviendo tóxico al suelo como: Zn^{2+} , Al^{3+} , Ni^{2+} , etc. (FASSBENDER y BORNEMISZA, 1987).

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.

2.4.4. Factores que afectan el pH

2.4.4.1. Relación suelo/agua

Quando 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).

2.4.4.2. Concentraciones de CO_2

La actividad biológica de las raíces y de los microorganismos incrementa la concentración de CO_2 en el aire del suelo formando el ácido carbónico al reaccionar con el agua (GUERRERO, 2000).

2.4.4.3. Otros factores

Clima (temperatura, precipitación, altitud, etc.), las prácticas de cultivo, el horizonte muestreado, la desecación del suelo y el contenido de sales solubles del suelo (FASBENDER, 1987 y GUERRERO, 2000).

2.5. Materia orgánica

Los autores denominan indistintamente materia orgánica (NAVARRO, 2003) 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 en nitrógeno total (GROS y DOMÍNGUEZ, 1992).

Se define También como la fracción orgánica del suelo que incluye vegetales y animales en diferente estado de descomposición (CEPEDA, 1991).

El humus tiene efecto sobre las propiedades físicas del suelo, formando agregados y dando estabilidad estructural, uniéndose a las arcillas y formando el complejo de cambio, favoreciendo la penetración del agua y su retención, disminuyendo la erosión y favoreciendo el intercambio gaseoso. Cuando se refiere al efecto sobre las propiedades químicas del suelo, los

autores mencionan que aumenta la capacidad de cambio del suelo, la reserva de nutrientes para la vida vegetal y la capacidad tampón del suelo favorece la acción de los abonos minerales y facilita su absorción a través de la membrana celular de las raicillas. Y en cuanto a su efecto sobre las propiedades biológicas, favorece los procesos de mineralización, el desarrollo de la cubierta vegetal, sirve de alimento a una multitud de microorganismos y estimula el crecimiento de la planta en un sistema ecológico equilibrado (VANGESTEL, 1996).

2.5.1. 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

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).

2.6. Capacidad de intercambio catiónico

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 (cationes) 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).

2.6.1. 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^{++} y el Mg^{++} , 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 (aplicar cal) (CEPEDA, 1991).

2.6.2. 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^{++} , Mg^{++} , K^+ , Na^+ , H^+ , Al^{+++} , Fe^{+++} , Fe^{++} , NH_4^+ , Mn^{++} , Cu^{++} y Zn^{++} . En los suelo ácidos predominan H^+ y Al^{+++} , en los suelos alcalinos predominan las bases, fundamentalmente el Na^+ y en los neutros el Ca^{++} . 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)

2.6.3. Importancia de la capacidad de cambio

- Controla la disponibilidad de nutrientes para las plantas: K^+ , Mg^{++} , Ca^{++} , 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.

Cuadro 4. Niveles de la capacidad de intercambio catiónico ($\text{pH} > 5.5$).

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).

2.7. Nutrientes

Los nutrientes vegetales son aquellos elementos químicos que en mayor o menor proporción son necesarios para el desarrollo de las plantas, y que en general éstas toman del suelo por las raíces, y del aire por las hojas. Por tanto el correcto desarrollo de un cultivo dependerá del contenido nutricional del suelo. Pero la cantidad de nutrientes a añadir al suelo no depende solo del estado químico del suelo sino también de factores como el clima local, la estructura física, la existencia de cultivos previos y presentes, actividad microbiológica, etc. Por tanto, con una evaluación es posible saber la cantidad de fertilizantes a añadir (ZAVALA, 2007).

Por tanto el correcto desarrollo de un cultivo dependerá del contenido nutricional del suelo sobre el que se desarrolla. Pero la cantidad de nutrientes a añadir al suelo, no depende solo del estado químico del suelo sino también de factores como el clima local, la estructura física, la existencia de cultivos previos y presentes, actividad microbiológica, etc. Por tanto, solo tras

una evaluación técnica y económica, es posible elegir la cantidad adecuada de fertilizantes a añadir (ZAVALA, 2007).

2.7.1. El fósforo en el suelo

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).

2.7.2. El potasio en el suelo

Es un elemento nutritivo esencial para todos los organismos vivos. Los vegetales necesitan cantidades elevadas de este nutriente siendo semejantes al requerimiento de nitrógeno. El K 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).

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).

2.8. 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).

2.8.1. Partes del estudio

Un estudio normalmente tiene cuatro partes: un mapa, una leyenda del mapa, la descripción de los suelos área estudiada y el informe sobre uso y manejo.

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).

2.8.2. Mapa de 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.

2.8.3. Unidades de mapeo

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

2.8.4. 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.

2.8.5. 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).

2.8.6. 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).

2.9. 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, 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 (ANGUIANO *et al.*, 2003).

Dos de los procedimientos de interpolación geográfica de más uso son: distancia inversa ponderada (DIP) y el método kriging ordinario (KO). DIP es el método de interpolación más comúnmente utilizado, debido a la sencillez de los cálculos. Sin embargo, la técnica de KO ha probado su utilidad y ventaja sobre la mayoría de los métodos de interpolación para la descripción de la distribución espacial de variables geológicas y edáficas, tales como fósforo disponible, potasio intercambiable y pH (BRUZ *et al.*, 1996).

Para el estudio de la variabilidad espacial de las propiedades del suelo se ha acudido con frecuencia al uso de análisis geoestadísticos (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 (MARTÍNEZ y ZINCK, 1994; MARTÍNEZ y ZINCK, 2004). La geoestadística trata con variables medidas en

una región con continuidad espacial, se fundamenta en el estudio de la autocorrelación espacial, es decir, asume que las observaciones de dos sitios serán más similares en la medida en que estos sean más cercanos (CRESSIE, 1993).

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).

2.10. Trabajos anteriores relacionados

En la región Pasco, SANTAMARIA (2011) realizó un estudio de la distribución espacial de algunas propiedades físicas y químicas con la finalidad de tener una base de datos sobre estos suelos, obteniendo resultados muy interesantes de analizar.

MENDEIETA (2011) realizó análisis físico químico y cromatográfico del suelo de los predios de cacao orgánico de los socios de la COOPERATIVA AGROINDUSTRIAL TOCACHE Ltda., todo esto en el ámbito de Tocache, región San Martín.

MEJÍA *et al.* (2010) estudiaron la variabilidad espacial de las características químicas de un suelo sembrado con palma africana (*Elaeis*

guineensis L.); con un muestreo sistemático de 79 muestras en sitio fertilizado y 79 en sitio no fertilizado, en la Plantación Alespalma, ubicada en la región Chocó Pacífica del Ecuador, Cantón de San Lorenzo (60 msnm, 28 °C y 85% de humedad relativa). Se encontró que en el suelo predominan las deficiencias de fósforo, potasio y boro; el calcio es relativamente alto e influye en forma adversa sobre el magnesio y potasio; la materia orgánica es alta e incide positivamente sobre la CIC.

BARRIOS y FLORENTINO (2009) evaluaron la variabilidad de las propiedades físicas de dos suelos irrigados representativos de las plantaciones comerciales de palma aceitera del estado Monagas, a fin de cuantificar la distribución espacial del impacto que tiene el manejo agronómico del cultivo sobre el suelo. Para el muestreo se trazaron cinco transectos y se seleccionaron 102 puntos en el Ultisol y 92 puntos en el Vertisol. La estadística clásica y los métodos geoestadísticos revelaron diferencias estadísticas y variabilidad espacial entre los suelos, entre los horizontes evaluados y a través del campo. La estructura de los semivariogramas experimentales reveló el impacto de la actividad antrópica sobre las propiedades físicas del suelo. La varianza estructurada fue dominante sobre el componente aleatorio del semivariograma. Los modelos teóricos ajustados fueron del tipo esférico y exponencial. Los mapas de contorno obtenidos por interpolación por 'Kriging' tienen gran potencialidad para diseñar estrategias de manejo por sitio específico.

DURÁN y ORTÍZ (1995) evaluaron el efectos de algunas propiedades físicas del suelo y la precipitación sobre la producción de la palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq) en Centroamérica; determinando que las principales limitantes de la producción fueron: baja aeración de los suelos en Coto; baja aeración de suelos y déficit hídrico en Quepos; baja aeración de suelos, baja saturación de bases y texturas arenosas en San Alejo.

GONZÁLEZ *et al.* (2011) evaluaron el efecto del cultivo de palma aceitera (PA), pasto (P) y bosque (B) sobre los suelos y determinaron: carbono total (COT), nitrógeno total (NT), nitrógeno disponible (ND), pH y conductividad eléctrica (CE) en una suspensión suelo: agua, densidad aparente (Da) en muestras no perturbadas y humedad (%H). Aplicaron un análisis de varianza, cuando fue significativo ($P < 0.05$) se aplicó una prueba de medias de Tukey. La Da fue mayor en B (1.32 ± 0.04), mientras que el pH, CE y %H fueron mayores en PA y P. Los valores de %COT, %NT y ND fueron menores en PA. PA afectó negativamente las propiedades químicas del suelo.

Un factor que influye en la producción es la luz, la radiación luminosa no falta en ningún ecosistema terrestre. Puede variar la cantidad. En aquellas estaciones en que esta cantidad es reducida, se obtienen formas de tallo esbeltas y en las que es abundante formas achaparradas. Las causas de la variación de cantidad pueden estar relacionadas con la latitud, la exposición o la nubosidad, pero donde siempre se produce una reducción es bajo la cubierta del dosel de copas de formaciones arbóreas. La reducción de la

iluminación se expresa como porcentaje existente de la radiación incidente sobre el dosel de copas y está relacionada con la espesura (SERRADA, 2008).

Las especies vegetales resisten de forma diferente esta posibilidad de reducción cuantitativa de la iluminación. Según HAROLD y HOCKER (1984), pocas especies pueden sobrevivir cuando la intensidad de luz es menor de 1% de la luz solar total.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Características generales del área de estudio

3.1.1. Ubicación

El presente trabajo se realizó a cabo en los predios con cultivo de palma aceitera que pertenecen a la asociación de palmicultores de Shambillo, ubicados políticamente en la región Ucayali, provincia Padre Abad y el distrito Padre Abad. Ecológicamente pertenece a la formación vegetal bosque Húmedo – Tropical, temperatura media anual de 25,6 °C y una humedad relativa de 89% con una precipitación anual de 5011 mm, cuyas coordenadas geográficas son:

Latitud Sur	: 09°02'13"
Longitud Oeste	: 75°30'12"
Altitud	: 250 msnm.

3.1.2. Vías de acceso

Terrestre: Tingo María – Aguaytia (110 Km) utilizando la carretera Federico Basadre, con una duración aproximada de 2 h.

El acceso de la ciudad de Aguaytia al Valle de Shambillo (15 Km) es por vía terrestre aproximadamente 30 min, por una carretera afirmada.

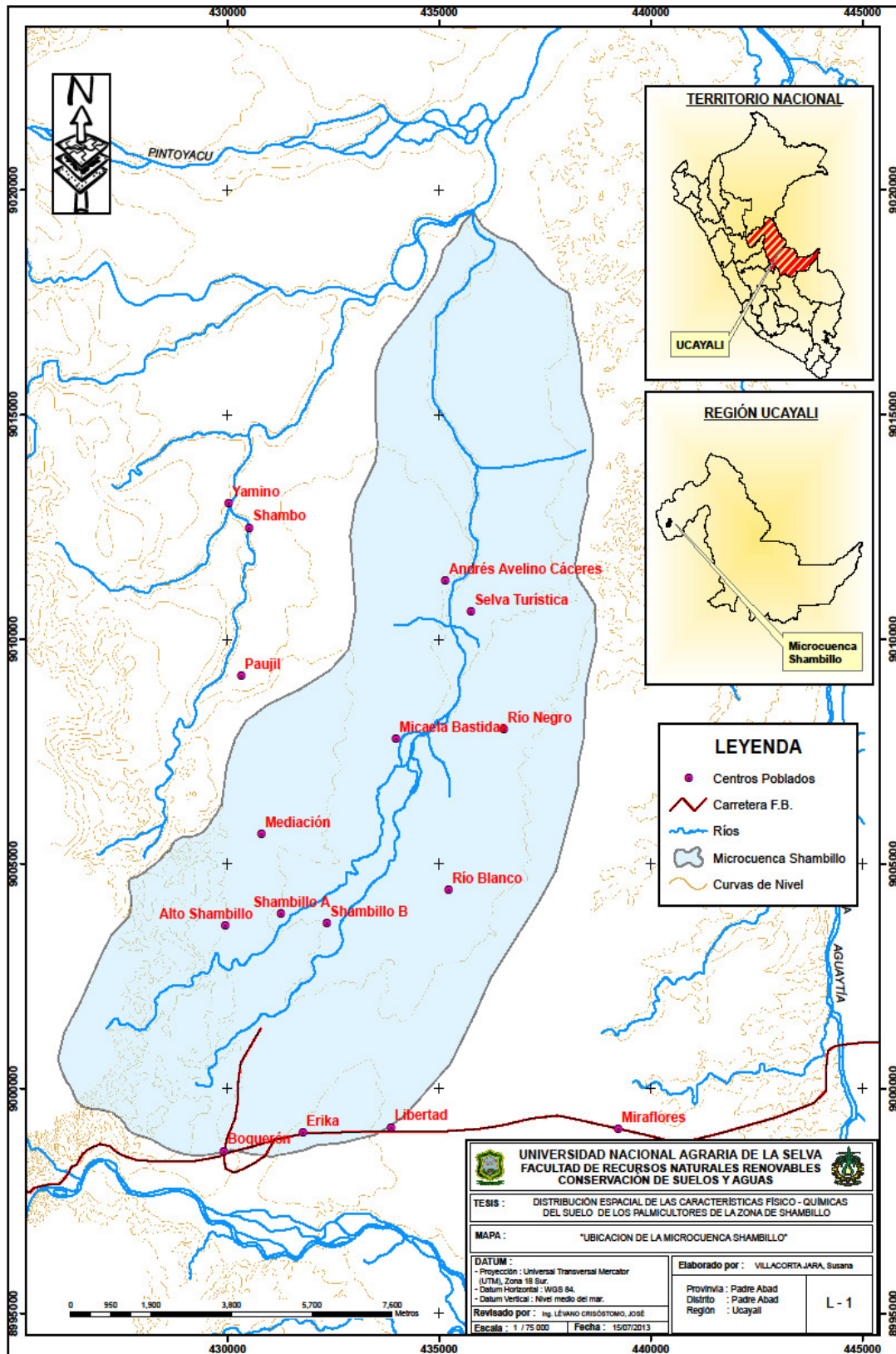


Figura 3. Mapa de ubicación de la microcuenca Shambillo.

3.2. Materiales y equipos

- Imágenes de satélite.
- Muestras de suelo.
- Cámara fotográfica
- Carta Nacional
- Sistema de posicionamiento global (GPS).
- Computadora portátil

3.3. Metodología

3.3.1. Fase de campo

3.3.1.1. Identificación del lugar

La primera fase se coordinó con la asociación de palmicultores para el reconocimiento del área de estudio, previa coordinación con las autoridades del lugar, asimismo, se recopiló información cartográfica física y digital disponible así como imágenes satelitales y mapas de identificación del lugar.

3.3.1.2. Determinación de número de muestras

En el mapa de base de la zona se determinó la población total a partir de ello se calculó el número de muestras por zonas.

3.3.1.3. Muestreo de suelos y registro de datos

El muestreo de los suelos se realizó mediante el método de zig-zag, el cual consistió en dibujar líneas transversales imaginarias en el área a muestrear y se recolectó la muestra hasta completar la cantidad necesaria de suelo que fue aproximadamente de un kilogramo.

La captura de información se realizó mediante contacto directo con el terreno por medio de un sistema de posicionamiento global (GPS), el cual trabaja con una constelación de aproximadamente 24 satélites que se encuentran rodeando la tierra, que permitirán generar y almacenar los resultados de las medidas en formato digital.

3.3.1.4. Anotaciones diversas

En especial relevancia los factores a tener en cuenta además del análisis del suelo son el rendimiento, la fecha de la fertilización anterior y la edad del cultivo.

3.3.2. Fase de laboratorio

3.3.2.1. Análisis físico químico del suelo

Las características físicas y químicas de los suelos fueron determinadas según los métodos y técnicas empleadas en el Laboratorio de análisis de Suelos del INIA.

Cuadro 8. 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: VÁZQUEZ (1997).

3.3.2.2. Elaboración de mapa temático

Para la elaboración de los mapas se realizaron proyecciones al Sistema Universal Transversal Mercator (UTM), en el Datum WGS 84 zona 18L Hemisferio Sur, mediante el programa ArcGis 10.2 y para la manipulación de datos y el proceso de interpolación mediante Kriging.

Se elaboró los mapas de distribución a partir de los datos que se ha obtenido de los análisis de laboratorio y mediante la interpolación de la herramienta kringing que es una técnica cuantitativa que muestra mayor exactitud, basada en la geoestadística, los cuales permitieron estudiar estas características de los suelos y mapear el comportamiento de sus propiedades.

Teniendo en cuenta el valor de las variables altitud en metros sobre el nivel del mar y pendiente en porcentaje fue posible elaborar el mapa fisiográfico a nivel detallado mediante los sistemas de información geográfica, en el cual se observan las características individuales por cada unidad fisiográfica encontrada.

La información que se obtuvo del procesamiento de imágenes de satélite serán integradas a un sistema (SIG), los mapas temáticos serán generados utilizando el software ArcGis 10.2, seleccionando una cierta cantidad de puntos de muestreo correspondientes a las áreas experimentales determinadas para la clasificación y los demás puntos que serán seleccionados al azar, determinando de esta manera la precisión de la evaluación de los mapas.

Se clasificó el suelo basado en características distintivas y en criterios de uso e interpretación del suelo de acuerdo a la fertilidad para finalmente aplicarlo en campo.

3.3.3. Análisis estadístico

Se realizó el análisis de regresión lineal simple para correlacionar las variables evaluadas, y obtener su coeficiente de correlación (SAS, 2003).

3.3.3.1 Modelo aditivo líneal

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \epsilon_i$$

Donde:

Y_i	=	Valos predicho
β_0	=	Intercepto
β_1	=	Coeficiente de regresión
X_i	=	Variable independiente
ϵ_i	=	Error

IV. RESULTADOS

4.1. Interpretación de las propiedades físicas y químicas en suelos con cultivo de palma aceitera de la ASPASH

La textura del suelo en todos los sectores evaluados van de franco arenoso a franco arcillo arenoso.

La materia orgánica en todos los sectores evaluados presentó un rango entre 2.527 a 3.200 considerado como medio, debido a que no se encontró valores porcentuales inferiores a 2 ni superiores al 4%.

El pH en los suelos de los sectores Río Blanco, Selva Turística Boquerón y Avelino se caracterizan por ser extremadamente ácido (4.477 a 4.385), mientras que el sector Erika Libertad, Micaela Bastidas, Mediación, Shambillo B, Shambillo A y Río Negro es caracterizado como suelo de reacción fuertemente ácido (4.798 a 4.602).

El fósforo disponible (ppm) en los sectores Selva Turística, Río Negro y Avelino presentaron niveles muy bajos (4.971 a 4.740), mientras que en los sectores Erika Libertad, Río Blanco, Micaela Bastidas, Mediación, Boquerón, Shambillo B y Shambillo A, el fósforo disponible alcanzó valores bajos (13.003 a 5.294).

El potasio intercambiable (Cmol/Kg) en el sector de Boquerón presentó un nivel alto (0.645), mientras que en los sectores de Erika Libertad, Rio Blanco, Micaela Bastidas, Mediación, Selva Turística, Shambillo B, Shambillo A, Rio Negro, Avelino presentaron niveles medios (0.426 a 0.564).

El calcio en los sectores de Rio Blanco y Selva Turística alcanzó un nivel muy bajo (1.646 a 1.769), mientras que en los sectores Erika Libertad, Micaela Bastidas, Mediación, Boquerón, Shambillo B, Shambillo A, Rio Negro, Avelino alcanzaron niveles bajos (2.183 a 2.910).

El magnesio en los sectores de Rio Blanco, Shambillo A y Avelino presentaron niveles muy bajos (0.198 a 0.255), mientras que en los sectores Erika Libertad, Micaela Bastidas, Mediación, Selva Turística, Boquerón, Shambillo B y Río Negro presentaron niveles bajos (0.300 a 0.456).

Cuadro 9. Contenido de nutrientes en los suelos con cultivos de palma de la ASPASH.

Indicador	Erika	Libertad	Río Blanco	Micaela	Bastidas	Mediación	Selva	Turística	Boquerón	Shambillo B	Shambillo A	Río Negro	Avelino	Promedio
Materia orgánica (%)	2.527	2.542	2.827	2.927	2.857	2.788	2.771	2.715	3.200	3.065	2.802			
pH	4.707	4.435	4.798	4.640	4.385	4.477	4.620	4.602	4.665	4.417	4.579			
Nitrógeno total (%)	0.113	0.113	0.128	0.133	0.129	0.126	0.124	0.122	0.145	0.139	0.126			
Fósforo disponible (ppm)	6.893	5.294	13.003	6.402	4.971	7.202	7.070	6.938	4.829	4.740	6.748			
Potasio intercambiable(Cmol/Kg)	0.544	0.426	0.564	0.517	0.451	0.645	0.442	0.477	0.492	0.522	0.506			
Calcio (Cmol/Kg)	2.910	1.646	3.225	2.546	1.769	2.229	2.399	2.550	2.884	2.183	2.446			
Magnesio (Cmol/Kg)	0.350	0.198	0.453	0.300	0.329	0.394	0.311	0.255	0.456	0.255	0.328			

4.2. Distribución espacial de las propiedades físicas y químicas de los suelos del cultivo de palma aceitera de la ASPASH

4.2.1. Contenido de arena

Mayores rangos de arena se han encontrado en la parte alta y baja de la microcuenca, donde inicia la formación de los ríos y en el área izquierda de desembocadura (Cuadro 10 y Figura 4).

Cuadro 10. Distribución porcentual de áreas con rangos de arena en suelos con cultivo de palma aceitera de la ASPASH.

Rangos de arena (%)	Área (km ²)	Área (ha)	Porcentaje (%)
26.268 – 36.453	0.11	11.45	0.08
36.453 – 41.403	0.56	55.75	0.41
41.403 – 43.808	10.50	1049.62	7.64
43.808 – 45.930	14.39	1439.32	10.47
45.930 – 47.910	32.24	3223.60	23.46
47.910 – 49.466	22.98	2297.53	16.72
49.466 – 51.022	22.67	2267.49	16.50
51.022 – 52.861	25.62	2562.17	18.64
52.861 – 54.841	8.28	827.55	6.02
54.841 – 62.338	0.08	7.96	0.06
Total	137.42	13742.44	100

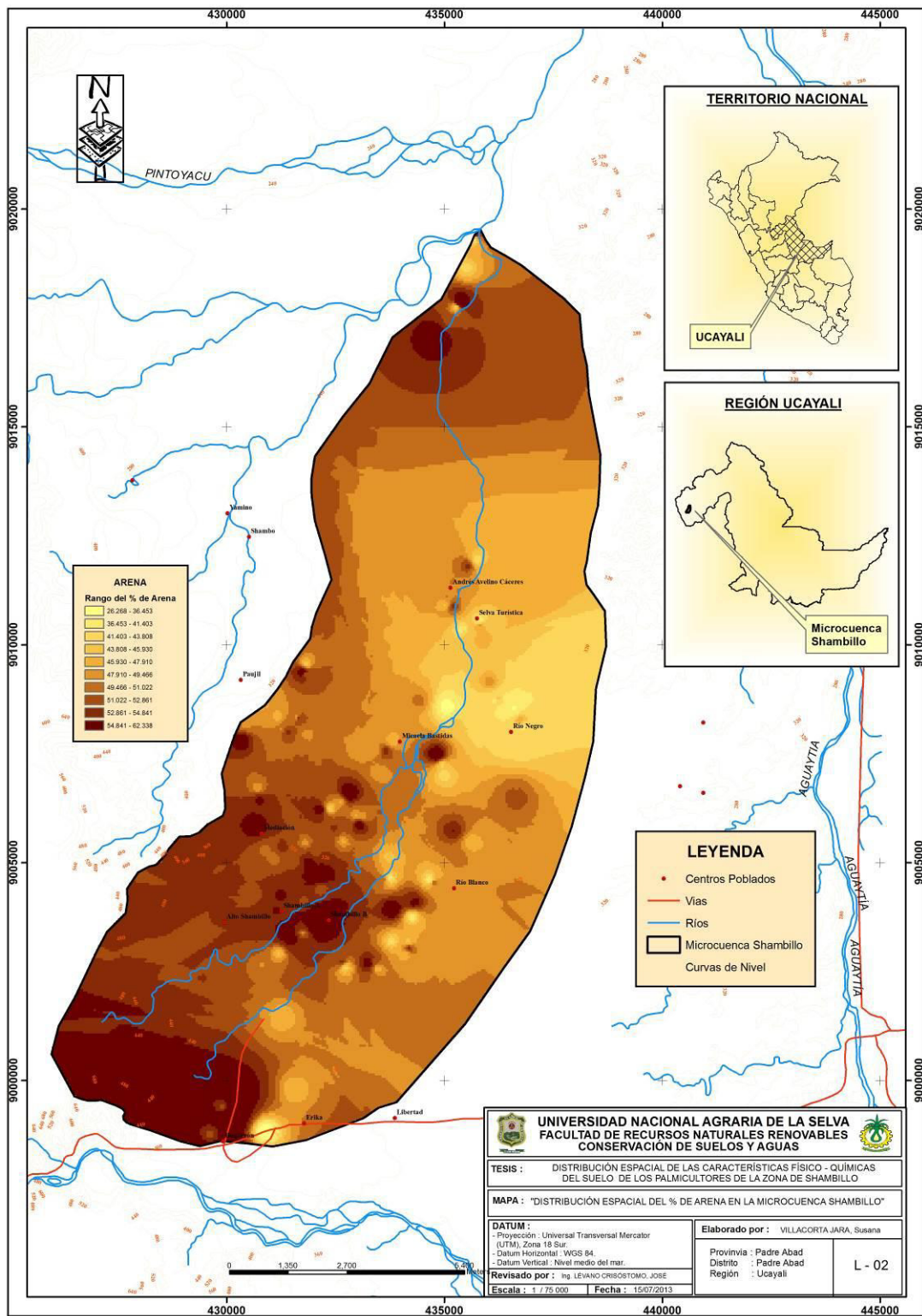


Figura 4. Distribución espacial de la arena en la microcuenca Shambillo.

4.2.2. Contenido de limo

Mayor cantidad porcentual de limo se encontró en la parte media de la microcuenca; además la mayor área (25.67%) de la microcuenca estuvo comprendida en el rango 33.754% – 35.137% de limo, la distribución de estos rangos se debe a que el área no presentaba altas pendientes, que es característica de los suelos en selva baja (Cuadro 11 y Figura 5).

Cuadro 11. Distribución porcentual de áreas con rangos de limo en suelos con cultivo de palma aceitera de la ASPASH.

Rangos de limo (%)	Área (km ²)	Área (ha)	Porcentaje (%)
24.420 – 30.527	0.16	16.15	0.12
30.527 – 32.486	4.63	463.18	3.37
32.486 – 33.754	14.20	1419.94	10.33
33.754 – 35.137	35.27	3527.18	25.67
35.137 – 36.519	17.63	1763.04	12.83
36.519 – 38.248	22.02	2202.26	16.03
38.248 – 40.322	25.51	2551.47	18.57
40.322 – 43.318	15.53	1552.76	11.30
43.318 – 47.812	2.02	202.30	1.47
47.812 – 53.804	0.44	44.15	0.32
Total	137.42	13742.44	100

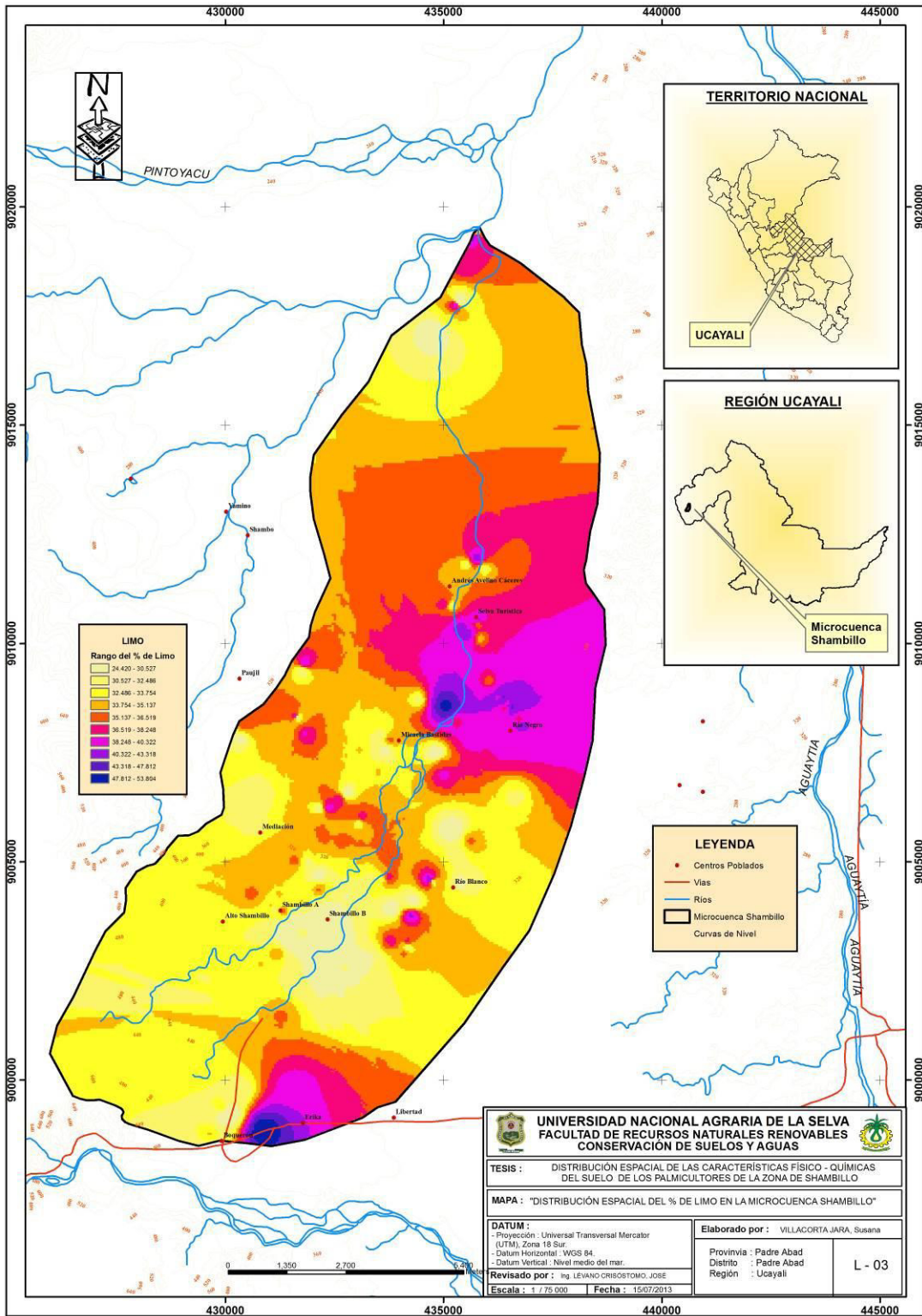


Figura 5. Distribución espacial de limo en la microcuenca Shambillo.

4.2.3. Contenido de arcilla

La distribución espacial de arcilla fue heterogénea en la microcuenca, el rango comprendida entre 17.956% – 18.740% abarcó un área de 28.18% del área total (Cuadro 12 y Figura 6).

Cuadro 12. Distribución porcentual de áreas con rangos de arcilla en suelos con cultivo de palma aceitera de la ASPASH.

Rangos de arcilla (%)	Área (km ²)	Área (ha)	Porcentaje (%)
10.661 - 13.494	0.02	1.94	0.01
13.494 - 14.519	2.15	215.12	1.57
14.519 - 15.484	9.23	922.74	6.71
15.484 – 16.328	12.81	1280.51	9.32
16.328 – 17.052	12.42	1241.88	9.04
17.052 - 17.956	36.43	3643.12	26.51
17.956 – 18.740	38.72	3872.28	28.18
18.740 - 19.584	24.53	2453.39	17.85
19.584 - 21.152	1.00	100.27	0.73
21.152 – 26.035	0.11	11.20	0.08
Total	137.42	13742.44	100

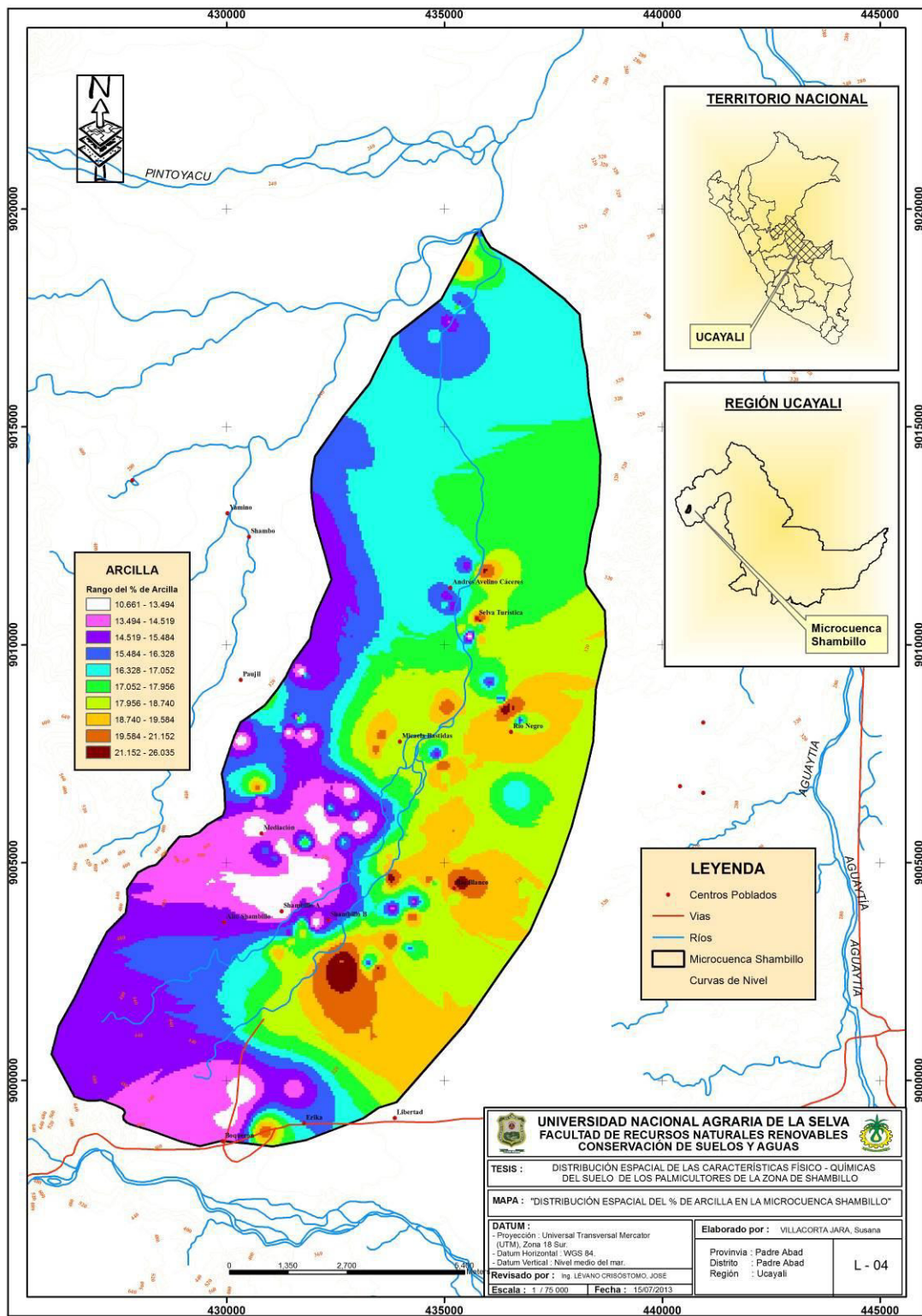


Figura 6. Distribución espacial de la arcilla en la microcuenca Shambillo.

4.2.4. Nitrógeno

En la parte alta izquierda de la microcuenca se encontró mayor contenido de nitrógeno, en la parte media izquierda hubo un contenido bajo de este elemento, mientras que la concentración intermedia se encontró distribuido en casi toda el área de la microcuenca. El 50.28% del área de la microcuenca, presenta valores de nitrógeno entre 0.119% a 0.124% (Cuadro 13 y Figura 7).

Cuadro 13. Distribución porcentual de áreas con rangos de nitrógeno en suelos con cultivo de palma aceitera de la ASPASH.

Rangos de Nitrógeno	Área (km ²)	Área (ha)	Porcentaje (%)
0.100 – 0.114	1.58	158.07	1.15
0.114 – 0.119	32.01	3201.34	23.30
0.119 – 0.124	69.09	6909.00	50.28
0.124 – 0.128	27.05	2705.09	19.68
0.128 – 0.133	1.78	177.94	1.29
0.133 – 0.138	0.14	14.08	0.10
0.138 – 0.145	0.05	5.30	0.04
0.145 – 0.154	0.01	1.30	0.01
0.154 – 0.174	2.3	230.00	1.67
0.174 – 0.207	3.4	340.00	2.47
Total	137.42	13742.11	100.00

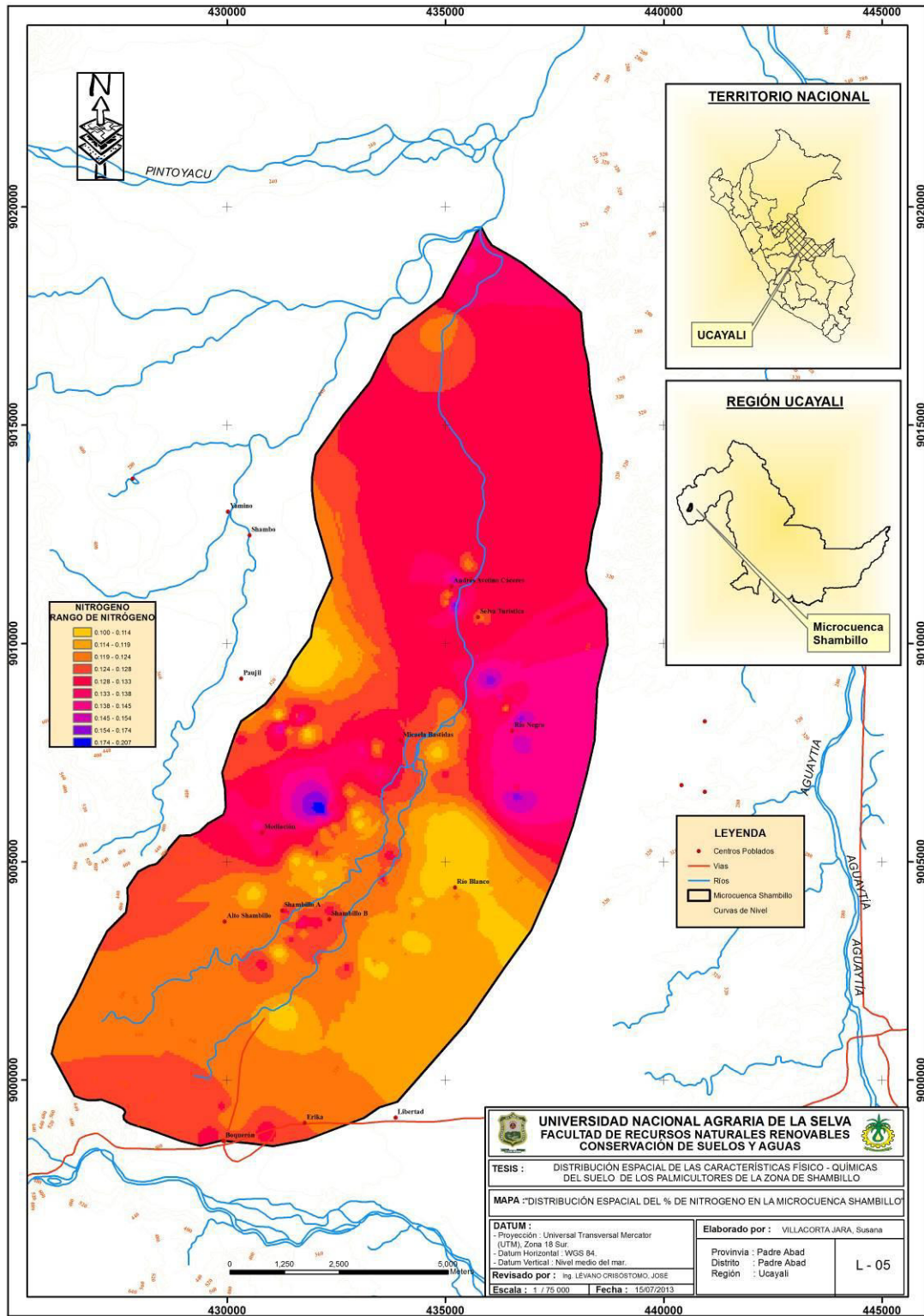


Figura 7. Mapa de la distribución espacial del nitrógeno en la microcuenca Shambillo.

4.2.5. Materia orgánica

La mayor concentración de materia orgánica se encontró en la parte media y baja de la microcuenca, la concentración intermedia se determinó en la parte media y alta de la microcuenca; además la menor concentración se encontró en la parte media derecha de la microcuenca (Cuadro 14 y Figura 8).

Cuadro 14. Distribución porcentual de áreas con rangos de materia orgánica en suelos con cultivo de palma aceitera de la ASPASH.

Rangos de Materia Orgánica	Área (km ²)	Área (ha)	Porcentaje (%)
2.142 – 2.523	2.13	213.00	1.55
2.523 – 2.657	25.09	2509.00	18.26
2.657 – 2.771	6.25	625.00	4.55
2.771 – 2.895	2.26	226.00	1.64
2.895 – 3.028	0.99	99.00	0.72
3.028 – 3.171	2.60	260.00	1.89
3.171 – 3.305	13.64	1364.00	9.93
3.305 – 3.438	30.29	3029.00	22.04
3.438 – 3.820	44.64	4464.00	32.48
3.820 – 4.572	9.54	954.00	6.94
Total	137.43	13743.00	100

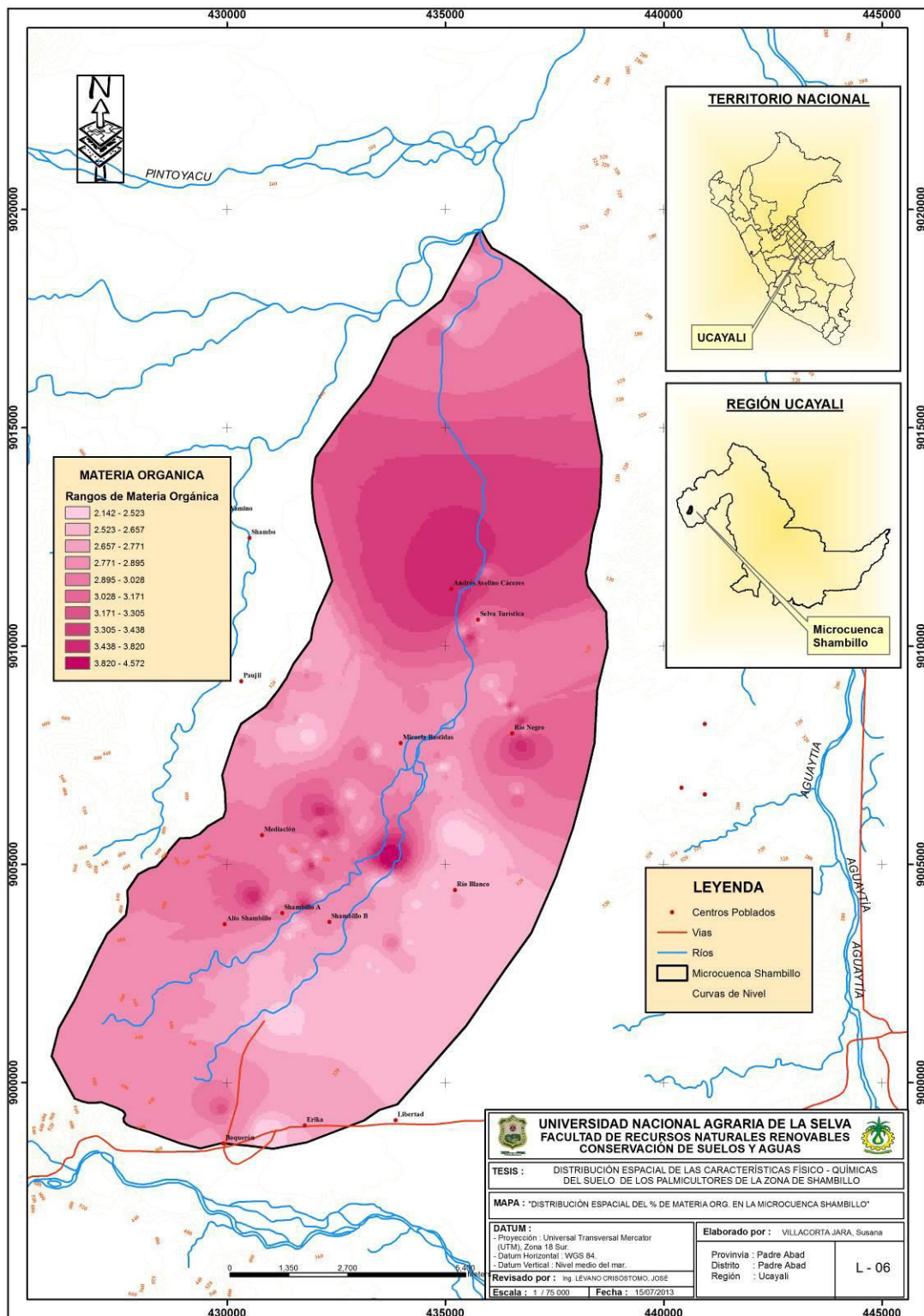


Figura 8. Mapa de la distribución espacial de la materia orgánica en la microcuenca Shambillo.

4.2.6. Fósforo

La mayor concentración de fósforo se encontró en la parte media y baja de la margen izquierda de la microcuenca, la concentración intermedia se determinó en la parte alta y derecha de la microcuenca; además la menor concentración se encontró en la parte media de la microcuenca. La mayor área (42.99%) de la microcuenca presentó la mayor concentración de fósforo que fue 6.052 – 10.516 ppm (Cuadro 15 y Figura 9).

Cuadro 15. Distribución porcentual de áreas con rangos de fósforo en suelos con cultivo de palma aceitera de la ASPASH.

Rangos de fósforo	Área (km ²)	Área (ha)	Porcentaje (%)
2.375 - 6.052	7.05	704.83	5.13
6.052 – 10.516	59.07	5907.20	42.99
10.516 – 17.344	6.28	627.60	4.57
17.344 – 23.384	3.03	303.43	2.21
23.384 – 29.424	8.62	862.05	6.27
29.424 - 35.989	40.93	4093.42	29.79
35.989 - 42.554	5.51	551.29	4.01
42.554 - 49.120	1.75	174.61	1.27
49.120 - 56.998	2.94	294.42	2.14
56.998- 69.340	2.24	223.58	1.63
Total	137.42	13742.44	100

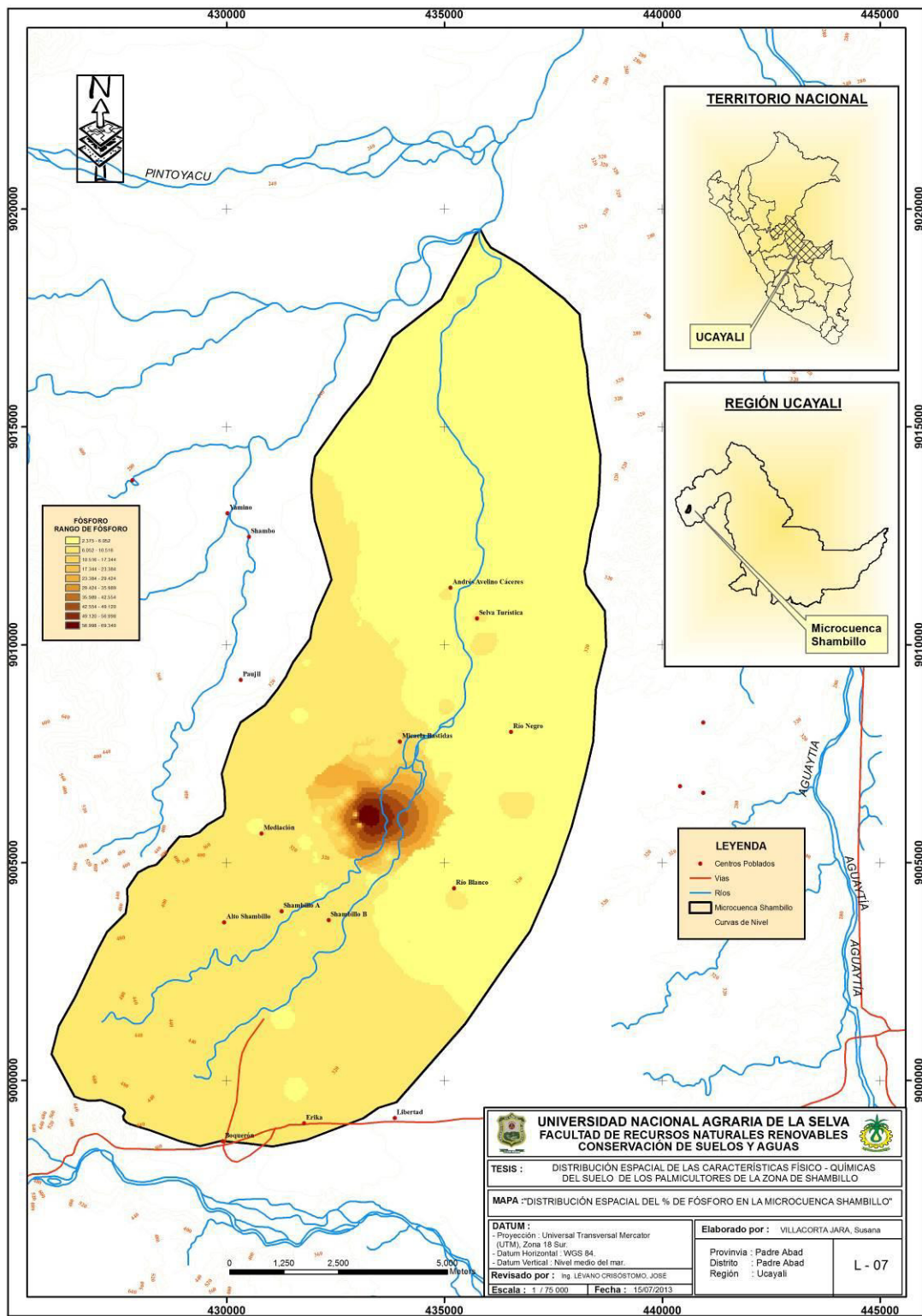


Figura 9. Mapa de la distribución espacial del fósforo en la microcuenca Shambillo.

4.2.7. Óxido de Potasio

La mayor concentración se encuentra entre la parte media y alta, distribuidos en la margen derecha e izquierda del río; concentraciones intermedias hubo en la parte media y baja de la microcuenca, mientras que los menores valores se encontró en la parte alta y baja de la microcuenca. La máxima área de la microcuenca (23.72%) presenta una concentración que abarca entre 0.239 – 0.252% de óxido de potasio.

Cuadro 16. Distribución porcentual de áreas con rangos de potasio en suelos con cultivo de palma aceitera de la ASPASH.

Rangos de Óxido de potasio	Área (km ²)	Área (ha)	Porcentaje (%)
0.060 – 0.163	0.10	9.58	0.07
0.163 – 0.183	3.77	376.85	2.74
0.183 – 0.198	12.76	1275.75	9.28
0.198 – 0.212	16.56	1655.70	12.05
0.212 – 0.225	15.21	1520.88	11.07
0.225 – 0.239	31.13	3112.81	22.65
0.239 – 0.252	32.60	3260.00	23.72
0.252 – 0.266	19.51	1950.59	14.19
0.266 – 0.292	0.75	75.29	0.55
0.292 – 0.356	5.05	505.00	3.67
Total	137.42	13742.46	100

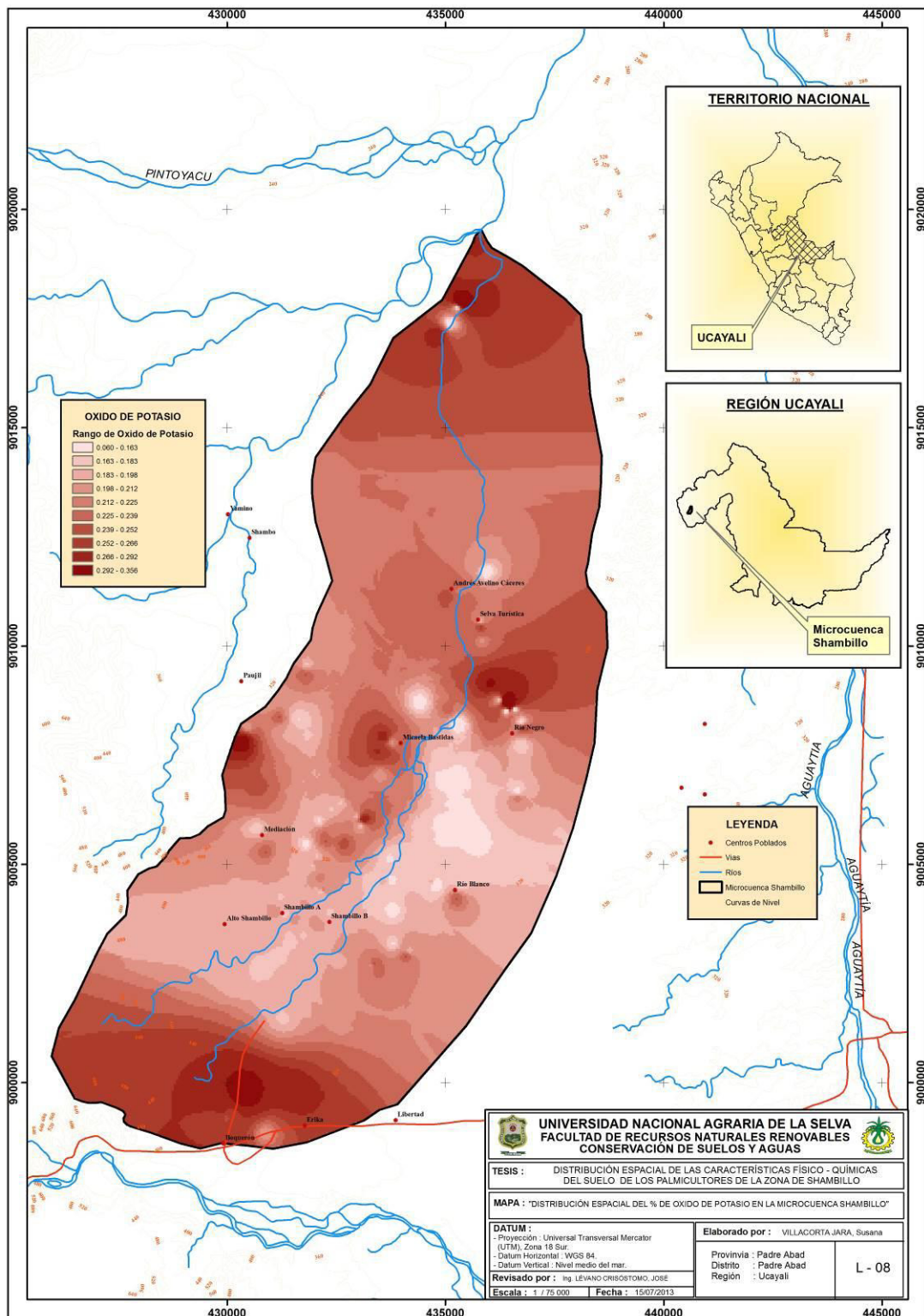


Figura 10. Mapa de la distribución espacial del óxido de potasio en la microcuenca Shambillo.

4.2.8. Aluminio

Se encontró alta concentración de este elemento en la parte intermedia de la microcuenca, aspecto determinado por la presencia de arcilla posiblemente tipo caolinítico y además presencia de óxido de fierro, aluminio y manganeso. En estas áreas pueden existir carencias en nitrógeno, debido al tratamiento aplicado como la extracción de racimos; el rango de Al entre 1.775 – 1.885 alcanzó mayor área de la microcuenca (33.66%), en menores áreas, se encontró rangos altos de aluminio, debido a la fuerte acidez de los suelos.

Cuadro 17. Distribución porcentual de áreas con rangos de aluminio en suelos con cultivo de palma aceitera de la ASPASH.

Rangos de aluminio	Área (km ²)	Área (ha)	Porcentaje (%)
0.807 – 1.291	0.03	2.79	0.02
1.291 – 1.496	3.62	361.88	2.63
1.496 – 1.643	17.49	1749.41	12.73
1.643 – 1.775	39.89	3989.30	29.03
1.775 – 1.885	46.25	4625.48	33.66
1.885 – 1.980	17.49	1748.90	12.73
1.980 – 2.068	7.66	765.72	5.57
2.068 – 2.171	4.52	451.58	3.29
2.171 – 2.303	0.43	43.47	0.32
2.303 – 2.670	0.04	3.89	0.03
Total	137.42	13742.44	100

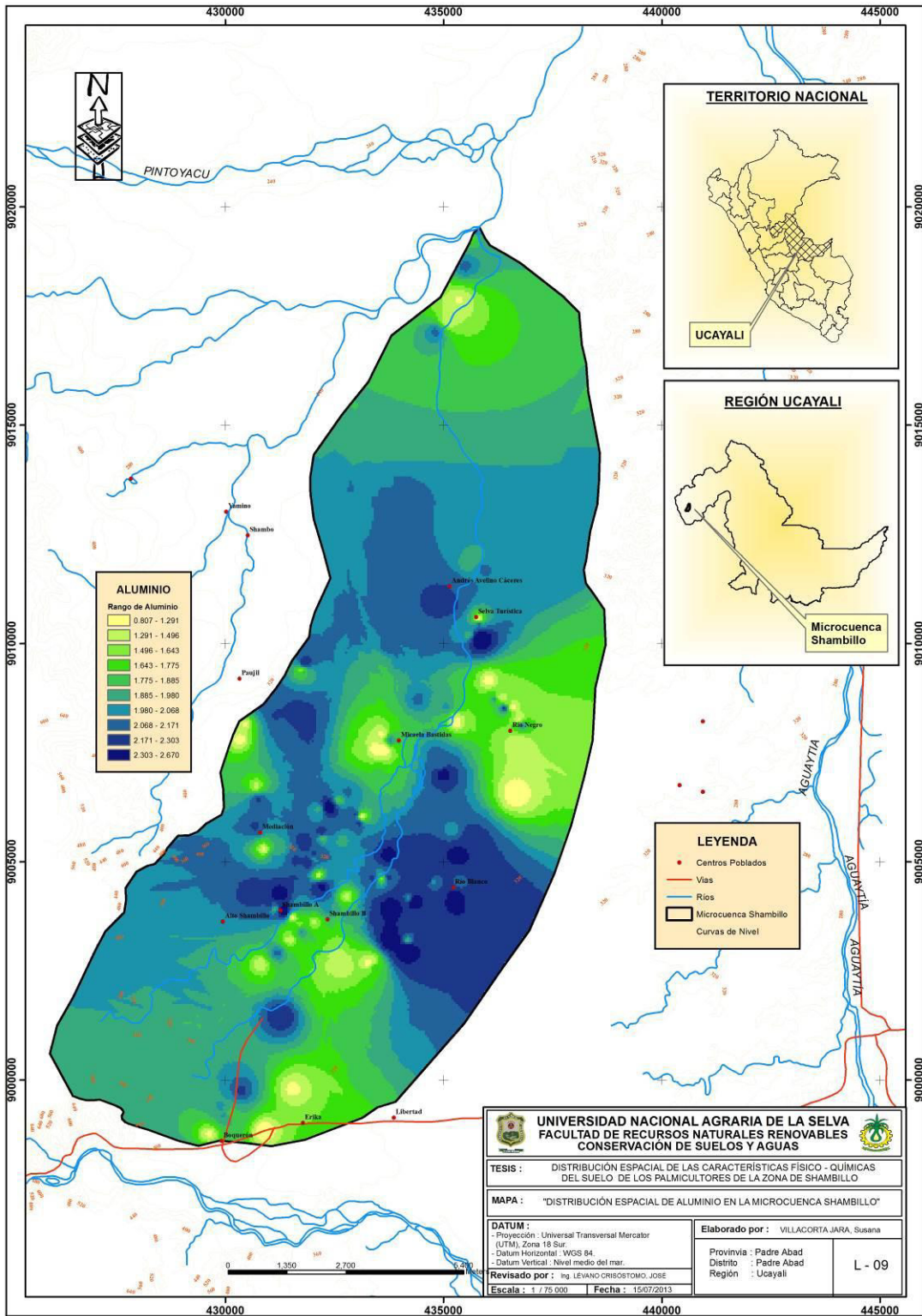


Figura 11. Mapa de la distribución espacial del aluminio en la microcuenca Shambillo.

4.2.9. Calcio

Se registró mayor contenido de este elemento en la parte baja de la microcuenca, tanto en la margen derecha e izquierda del río, la baja concentración se encontró dispersado entre la parte alta y media, cubierto por la concentración media. El rango de calcio entre 1.673 – 1.977 abarcó un área del 25.02% de la microcuenca, con altos valores de área en CIC.

Cuadro 18. Distribución porcentual de áreas con rangos de calcio en suelos con cultivo de palma aceitera de la ASPASH.

Rangos de calcio	Área (km ²)	Área (ha)	Porcentaje (%)
0.281 - 1.673	0.02	2.33	0.02
1.673 – 1.977	34.39	3438.60	25.02
1.977 - 2.306	18.30	1829.89	13.32
2.306 - 2.635	5.51	550.85	4.01
2.635 - 2.913	3.78	377.81	2.75
2.913 - 3.191	11.11	1111.18	8.09
3.191 - 3.520	31.16	3116.11	22.68
3.520 - 4.052	28.66	2866.24	20.86
4.052 - 4.887	3.74	374.05	2.72
4.887 - 6.735	0.75	75.37	0.55
Total	137.42	13742.44	100

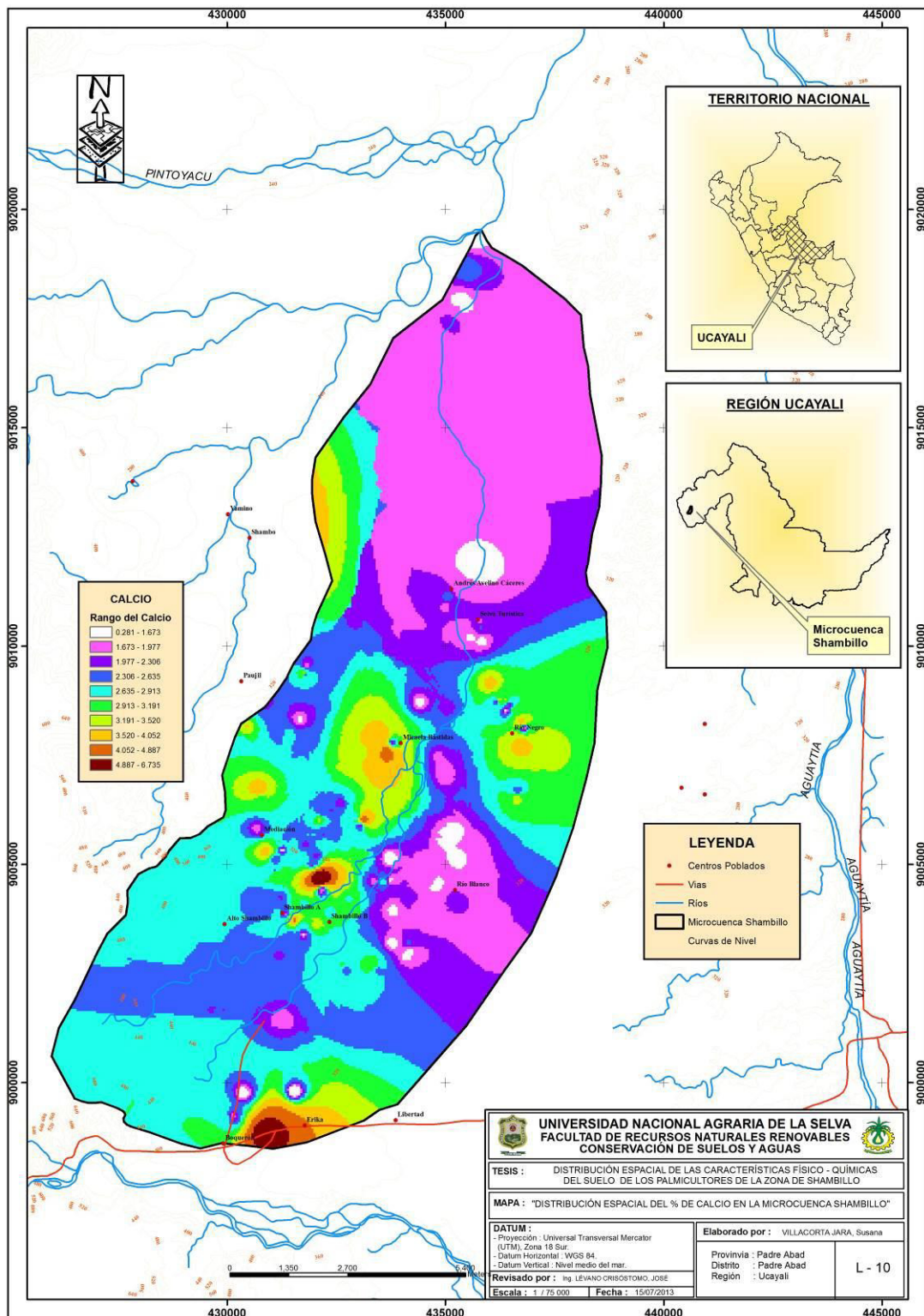


Figura 12. Mapa de la distribución espacial del calcio en la microcuenca Shambillo.

4.2.10. Magnesio

Hubo concentración alta y media de magnesio en la mayor área de la microcuenca a excepción que en la parte baja y derecha de la microcuenca se encontró menor concentración de magnesio. El 30.71% del área de la microcuenca presentó una concentración entre 0.522 a 0.586 de magnesio (y Cuadro 19 y Figura 13).

Cuadro 19. Distribución porcentual de áreas con rangos de magnesio en suelos con cultivo de palma aceitera de la ASPASH.

Rangos de Magnesio	Área (km ²)	Área (ha)	Porcentaje (%)
0.073 – 0.273	0.01	1.15	0.01
0.273 – 0.346	0.20	20.06	0.15
0.346 – 0.415	3.36	335.75	2.44
0.415 – 0.483	21.43	2142.80	15.59
0.483 – 0.547	40.20	4020.33	29.25
0.547 - 0.635	42.20	4220.44	30.71
0.635 – 0.757	26.85	2685.39	19.54
0.757 – 0.894	2.11	210.78	1.53
0.894 – 1.079	0.96	96.38	0.70
1.079 – 1.319	0.09	9.36	0.07
Total	137.42	13742.44	100

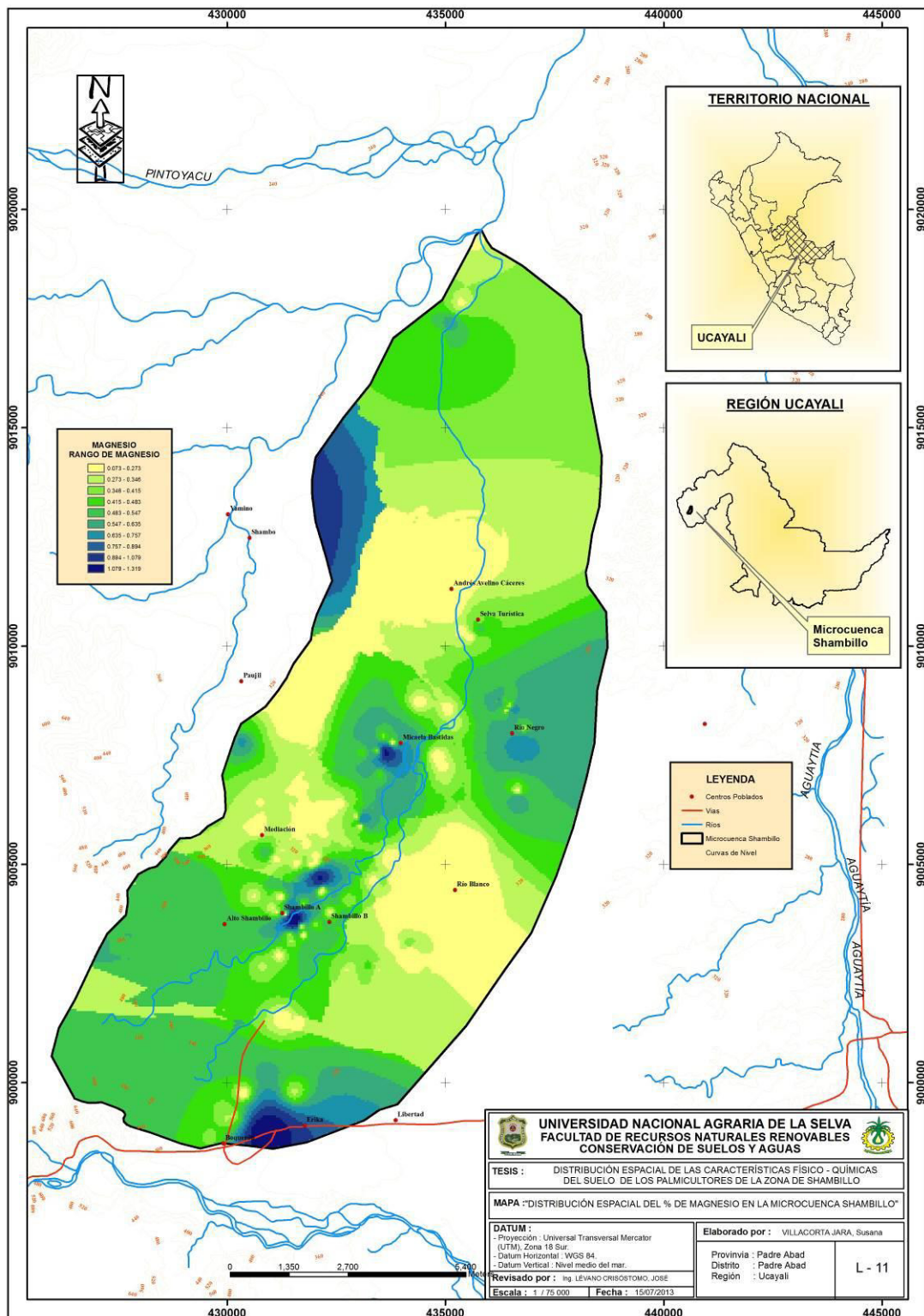


Figura 13. Mapa de la distribución espacial del magnesio en la microcuenca Shambillo.

4.2.11. Capacidad de intercambio catiónico

La concentración media y baja de CIC se ha encontrado en la parte alta del margen derecho de la microcuenca, además hubo menor área en la parte media de la margen izquierda y baja de la parte derecha; mientras que las mayores valores de CIC estuvo registrada en la parte media del margen izquierdo y en su totalidad en la parte baja de la microcuenca. El rango 4.007 - 4.319 de CIC, abarca el mayor área (28.49%) de la microcuenca.

Cuadro 20. Distribución porcentual de áreas con capacidad de intercambio catiónico en suelos con cultivo de palma aceitera de la ASPASH.

Rangos de CIC	Área (km ²)	Área (ha)	Porcentaje (%)
2.077 - 3.439	0.19	18.56	0.14
3.439 - 4.007	3.83	383.20	2.79
4.007 - 4.319	39.15	3915.08	28.49
4.319 - 4.632	24.08	2407.75	17.52
4.632 - 4.915	11.88	1187.73	8.64
4.915 - 5.199	24.87	2487.12	18.10
5.199 - 5.540	25.80	2579.62	18.77
5.540 - 6.108	6.39	638.75	4.65
6.108 - 7.073	0.92	92.17	0.67
7.073 - 9.315	0.32	32.44	0.24
Total	137.42	13742.44	100

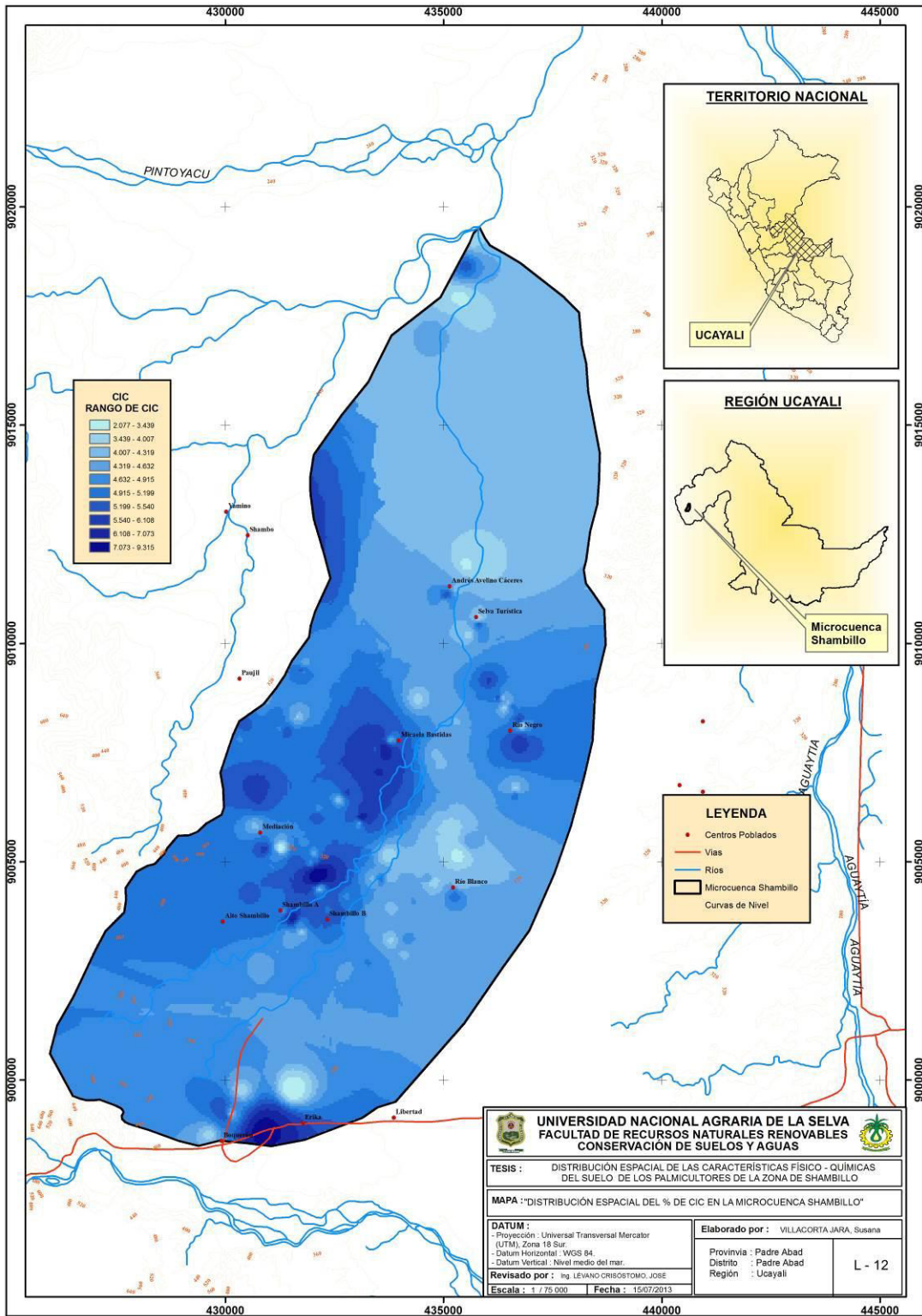


Figura 14. Mapa de la distribución espacial de la capacidad del intercambio catiónico en la microcuenca Shambillo.

4.2.12. pH

Se encontró menor concentración de pH en la parte media y alta en la margen derecha de la microcuenca, mientras que los valores más altos se encontró en la margen izquierda que abarcó desde la parte alta hasta la parte baja de la microcuenca. El 26.59% del área de la microcuenca presentó un rango de pH entre 4.609 hasta 4.662 (Cuadro 21 y Figura 15).

Cuadro 21. Distribución porcentual de áreas con rangos de pH en suelos con cultivo de palma aceitera de la ASPASH.

Rangos de pH	Área (km ²)	Área (ha)	Porcentaje (%)
4.050 – 4.283	0.40	39.86	0.29
4.283 – 4.388	1.99	199.02	1.45
4.388 – 4.444	17.39	1739.18	12.66
4.444 – 4.501	21.06	2105.77	15.32
4.501 – 4.561	18.90	1890.22	13.75
4.561 – 4.609	20.82	2081.53	15.15
4.609 – 4.662	36.55	3654.76	26.59
4.662 – 4.730	15.81	1580.80	11.50
4.730 – 4.819	4.44	444.33	3.23
4.819 – 5.076	0.07	6.96	0.05
Total	137.42	13742.44	100.00

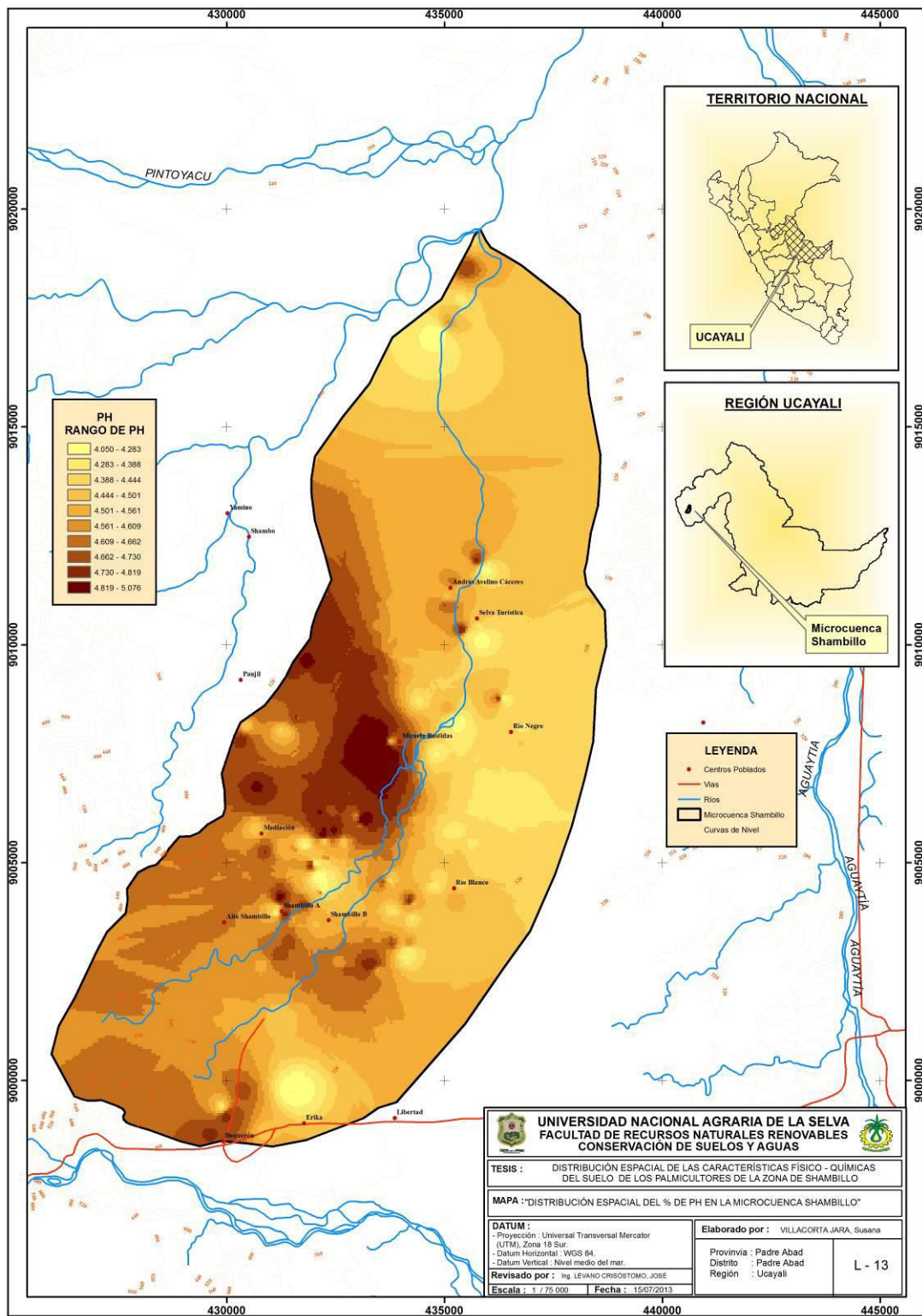


Figura 15. Mapa de la distribución espacial del pH en la microcuenca Shambillo.

4.3. Correlación entre el contenido de nutrientes y el rendimiento

De acuerdo al análisis realizado, se ha determinado que existe una alta diferencia estadística en la correlación generada entre la producción de palma aceitera con los valores de la coordenada Este y los valores del pH en el suelo.

Cuadro 22. Correlación de Pearson generada por las variables registradas.

		L	UTM	Arena	Arcilla	Limo	pH	MO (%)	N (%)	P2O5 (ppm)	Al	K2O	Ca	Mg	CIC	Rdto/ha
L	Correlación	1	-,047	-,407**	,424**	,269**	-,244**	,146	,144	-,127	,072	-,111	-,234**	-,130	-,256**	,214**
UTM	Correlación	-,047	1	-,014	0,050	-,012	,019	,033	,013	,031	-,073	-,021	,022	,002	-,007	-,074
Arena	Correlación	-,407**	-,014	1	-,646**	-,894**	,115	-,029	-,039	,060	,010	,160*	,038	,008	,063	-,098
Arcilla	Correlación	,424**	,050	-,646**	1	,236**	-,175*	-,024	-,023	-,083	-,019	-,204**	-,123	-,050	-,156*	,143
Limo	Correlación	,269**	-,012	-,894**	,236**	1	-,043	,050	,062	-,027	-,003	-,084	,025	,019	,012	,041
pH	Correlación	-,244**	,019	,115	-,175*	-,043	1	-,052	-,052	,137	-,660**	,219**	,849**	,587**	,762**	,117
MO (%)	Correlación	,146	,033	-,029	-,024	,050	-,052	1	,982**	-,097	-,195**	,042	,008	,094	-,055	-,035
N (%)	Correlación	,144	,013	-,039	-,023	,062	-,052	,982**	1	-,106	-,199**	,036	,017	,098	-,047	-,052
P2O5 (ppm)	Correlación	-,127	,031	,060	-,083	-,027	,137	-,097	-,106	1	-,141	,150*	,185*	,139	,177*	-,084
Al	Correlación	,072	-,073	,010	-,019	-,003	-,660**	-,195**	-,199**	-,141	1	-,175*	-,675**	-,681**	-,439**	-,003
K2O	Correlación	-,111	-,021	,160*	-,204**	-,084	,219**	,042	,036	,150*	-,175*	1	,170*	,130	,167*	,008
Ca	Correlación	-,234**	,022	,038	-,123	,025	,849**	,008	,017	,185*	-,675**	,170*	1	,746**	,947**	,087
Mg	Correlación	-,130	,002	,008	-,050	,019	,587**	,094	,098	,139	-,681**	,130	,746**	1	,723**	,009
CIC	Correlación	-,256**	-,007	,063	-,156*	,012	,762**	-,055	-,047	,177*	-,439**	,167*	,947**	,723**	1	,094
Rdto/ha	Correlación	,214**	-,074	-,098	,143	,041	,117	-,035	-,052	-,084	-,003	,008	,087	,009	,094	1

Cuadro 23. Análisis de varianza de la correlación entre la producción de palma aceitera con la coordenada Este y el pH del suelo.

Modelo	Suma de cuadrados	GL	Media cuadrática	Fc	Sig.
Regresión	821.069	2	410.535	7.066	0.001**
Residual	9935.623	171	58.103		
Total	10756.692	173			

Modelo matemático de las propiedades del suelo que explican el rendimiento está constituido por la siguiente ecuación:

$$\text{Rendimiento} = - 407.955 + 0.001 L + 3.249 \text{ pH}$$

Donde:

Rendimiento : Rendimiento de la producción de palma aceitera.

L : Valor de la coordenada Este

pH : Valor de pH del suelo.

El rendimiento es afectado por la latitud y el pH del suelo, a mayor pH mayor rendimiento a menor pH menor rendimiento, a más latitud más rendimiento a menos limo menos rendimiento, pero sin embargo el pH de suelo está correlacionado negativamente con el Al y en forma positiva con el K, Ca, Mg, Mg y la CIC.

La influencia de la pendiente sobre la vegetación se concreta en que con pendientes fuertes se produce una situación con menor disponibilidad hídrica, más riesgo de escorrentía y por tanto de erosión, por lo que la vegetación tenderá a ser más xerófila y más frugal. Al estar disminuida la competencia por la luz en las fuertes pendientes, la vegetación heliófila encuentra mejores condiciones de desarrollo.

V. DISCUSIÓN

5.1. Propiedades físicas y químicas en suelos con cultivo de palma aceitera de la ASPASH

El contenido medio de materia orgánica y nitrógeno es de nivel medio estaría obedeciendo a dos factores:

- El aporte de las malezas en las calles y que en este caso fue la especie de kudzu (*Pueraria phaseoloides*).
- El aporte de los residuos de hojas, ramas del manejo de la palma.

Respecto al aporte de residuos, CEPEDA (1991) corrobora que al realizar las labores de limpieza, se extrae una buena proporción de plantas de los suelos cultivados, sin embargo parte de su tallo, hojas y todas las raíces son abandonadas en el suelo; como estos materiales son descompuestos, llegan a constituir una parte de los horizontes subyacentes, por infiltración o por incorporación física, la cual incrementa los niveles de materia orgánica y nitrógeno.

El pH se modifica por efecto de la meteorización de los minerales sobre todo de los arcillosos y por efecto de la mineralización de las arcillas. Otro factor que haya reflejado en el valor promedio de un pH fuertemente ácido

(4.57), es debido a la aplicación de fertilizantes sintéticos como parte del manejo de la palma aceitera. El rango promedio se encuentra entre los valores iniciales a los mencionados por GONZALES (2008), en el que indica que la palma requiere suelos con pH entre 4.5 hasta 7.8; respecto al uso de fertilizantes y la alteración del pH, CEPEDA (1991) añade que el uso de fertilizantes como el sulfato y nitrato de amonio añadidos al suelo, aumentan la acidez del suelo.

Los valores de los nutrientes registrados fue muy variable en los suelos muestreados con cultivos de palma, REYES *et al.* (2005) indican que la palma de aceite incrementa la extracción de nutrimentos después del primer año de transplante y los más requeridos son: $K > N > S > Ca > Mg > P > Fe > Mn > Zn > Cu > B$; esto se vio plasmada en la aplicación de fertilizantes, debido a que los suelos de la zona son limitadas en dichos elementos.

El contenido de fósforo es bajo probablemente al proceso de fijación del fósforo por los minerales arcillosos del tipo 1:1 caoliníticos o por los óxidos o hidróxidos de fierro y aluminio que estas presentan cargas positivas y con el anión fósforo forman complejos insolubles, FASSBENDER (1987) indica que la adsorción de iones fosfato a la superficie del complejo coloidal como partículas de arcilla, material orgánico e hidróxidos de Al y Fe, es debido a las cargas electropositivas de la superficie de estos componentes.

En cuanto al potasio, calcio y magnesio como en estos suelos solo tienen pH bajos, las arcillas en estos suelos generan cargas positivas que

impiden la adsorción del potasio, calcio y magnesio facilitando la remoción por el agua teniendo en cuenta que esta zona es de alta precipitación, al respecto FASSBENDER (1987) indica que los factores que influyen sobre los nutrientes en el suelo son el régimen hídrico, la actividad biológica que a su vez depende del pH y la fertilización.

5.2. Distribución espacial de algunas propiedades físicas y químicas de los suelos del Cultivo de Palma Aceitera de la ASPASH

5.2.1. Propiedades físicas (arena, limo y arcilla)

En la zona media hay menor contenido de arena, mayor cantidad de limo y mayor cantidad de arcilla.

En la zona sur en la cabecera de la cuenca hay mayor contenido de arena, menor contenido de limo y menor contenido de arcilla, estas características favorecen el crecimiento de las plantas SÁENZ (2006) indica que las características granulométricas de cada suelo originaron variaciones importantes en el contenido de humedad de los mismos, y por ende, afectan sus propiedades químicas y biológicas.

Las características físicas y químicas del suelo influyen en el desarrollo de la palma de aceite, particularmente en zonas climáticas marginales. La palma de aceite es favorecida por suelos profundos, sueltos y con buen drenaje (SÁENZ, 2006), la cual estará influenciada por el drenaje la cual es importante determinar su distribución y se ha encontrado en la zona

norte hay mayor contenido de arena, menor contenido de limo y menor contenido de arcilla.

5.2.2. Propiedades químicas

Que la distribución del calcio, magnesio, potasio y CIC no es uniforme porque tanto como en el norte, sur y medio estarían obedeciendo a la textura del suelo (contenido de arena, limo y arcilla). En algunos sectores de la parte media el contenido de arcilla fue mayor por lo tanto mayor CIC tal como se mostró en la figura 6 lo que implica que tenga más cargas negativas y estas permitirían la adsorción del K, Ca y Mg reflejado en el mapa 10, 12, 13; para OVALLES (1992) y JARAMILLO (2003), el suelo es una entidad compleja que se caracteriza por la presencia de múltiples atributos, existiendo menor variabilidad en aquellas propiedades edáficas en su condición natural, que cuando es sometido a uso (en este caso las plantaciones de palma aceitera) y las propiedades que más se afectan por el manejo, serán las que presenten mayor variabilidad.

Se ha encontrado que la distribución espacial de las arcillas en la microcuenca, lleva una relación similar de distribución a la capacidad de intercambio catiónico (Figura 6 y 14), al respecto, FASSBENDER (1987) corrobora que 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.

El contenido del fósforo en los suelos de la microcuenca Shambillo en la parte sur es más alto en relación a la parte norte porque posiblemente estarían obedeciendo al efecto de la reacción del suelo o pH mostrado en la figura 14 ya que allí observamos de la misma manera en la zona sur con mayor pH que la zona norte, al respecto se conoce que el pH controla la dinámica del fósforo, para FASSBENDER (1987), la capacidad de fijación del P correlaciona significativamente con el contenido de materia orgánica, hidróxidos libres de aluminio, hierro y arcilla de los suelos; los factores más importantes son el pH y el contenido de hidróxidos libres de Fe y la materia orgánica.

En la zona norte y sur donde las zonas están cercanas a los ríos, los desborde o las crecientes permiten la acumulación de materiales sedimentarios en esto están el contenido de arena, limo y a su vez materia orgánica por lo tanto esto explica porque (la distribución espacial del nitrógeno y la materia orgánica) existe mayor contenido de acumulación de materia orgánica en los sectores de Río Negro, Avelino, Mediación.

No se ha encontrado relación entre algunos elementos de los suelos con cultivos de palma para la microcuenca, debido a que el área fue alterado por las actividades humanas y las labores agronómicas que aplican son de acuerdo a sus posibilidades y planes de cada palmicultor, BURROUGH (1986) subraya que para un estudio detallado de la variabilidad espacial de los suelos, no es factible el uso de la fotointerpretación como herramienta de mapeo, debido a que generalmente las unidades de suelos ocupan superficies

pequeñas donde no hay límites obvios y donde los atributos de interés no se correlacionan con cambios visibles externamente.

5.3. Correlación entre las propiedades del suelo y el rendimiento de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jaq) de la ASPASH

Se ha determinado que la latitud y el pH ha influenciado sobre el rendimiento de las cosechas de la palma aceitera, respecto a esto SÁNCHEZ, (2007) añade que la fertilidad del suelo no es suficiente para el crecimiento de las plantas; el clima juega un papel importante y determinante en muchos casos. Por ejemplo se puede tener un suelo fértil y que dadas las temperaturas extremas (diferentes lugares) no es capaz de producir buenas cosechas, entonces en un suelo fértil, no productivo. El incremento del pH de suelos orgánicos resulta en un incremento de la actividad biológica y una mayor liberación de nutrientes provenientes de la descomposición de la turba.

La relación registrada determina que el incremento de los niveles del pH favorece el rendimiento de la palma aceitera, por la asimilación de nutrientes por las raíces, al respecto CARVAJAL y LÓPEZ (1963); MORENO (2011) indican que en estudios relacionados con el efecto del pH en el crecimiento de la raíz fueron dados a conocer en 1924, además hubo una publicación en 1945, indicando el resultado de experiencias acerca de la influencia del pH en el desarrollo de los pelos radicales, la cual incrementan la asimilación de nutrientes.

VI. CONCLUSIONES

1. Los suelos con palma aceitera que pertenecen a la Asociación de Palmicultores de Shambillo presentan niveles muy variables en cuanto al contenido de materia orgánica y nitrógeno, el 54% del área están en el rango 3.305 a 3.820; en cambio el 43% presenta niveles bajos de fósforo y niveles bajos de potasio, de manera general consideramos a estos suelos como poco fértiles. La clase textural franco se determinó en un 62%, mientras que el franco arenoso alcanzó un 36.67% de las muestras.
2. Se logró interpretar las diferentes propiedades del suelo en los diferentes mapas temáticos de acuerdo a su distribución espacial de cada componente.
3. La relación del rendimiento y las propiedades del suelo se expresa por la siguiente ecuación de la forma: $\text{Rendimiento (Kg/Ha)} = - 407.955 + 0.001 L + 3.249 \text{ pH}$

VII. RECOMENDACIONES

1. Realizar el trabajo de investigación para diferentes cultivos.
2. Calibrar la metodología del muestreo de suelos, con la finalidad de obtener datos precisos para correlacionar con un determinado área.
3. En investigaciones similares, los tesisistas deben coordinar con el laboratorio la fiabilidad de los datos.
4. Evaluar el rendimiento del cultivo de Palma en campo directo y correlacionar con las otras propiedades.

VIII. ABSTRACT

Keywords: Spatial distribution, geostatistics , Interpolation , organic matter, nitrogen, soil

In order to analyze and interpret the spatial distribution of the physical and chemical soil cultivation of oil palm (*Elaeis guineensis* Jaq) Palm Growers Association of Shambillo (ASPASH) properties. The research took place in the district Padre Abad province Padre Abad and Ucayali region 150 soil samples to which the indicators by the methods mentioned by Vázquez (1997) , based on the data obtained from the laboratory analysis determined was collected and by interpolating the kriging tool based on geostatistics , allowed us to study the characteristics of soils and mapping behavior by ArcGis 9.2 program. We interpreted soils *E. guineensis* Jaq have highly variable levels in the content of organic matter and nitrogen , 54 % of the area are in the range 3305-3820 ; whereas 43 % have low phosphorus and low potassium levels , generally regard these as less fertile soils ; Franco textural class was determined by 62 % , while the sandy loam reached 36.67 % of the samples. It was possible to interpret the different soil properties in different thematic maps according to their spatial distribution of each component. The relationship of yield and soil properties by the following equation is expressed shape : Yield (Kg / Ha) = - 407,955 + 0.001 L + 3.249 pH.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARÉVALO, L., SANCO, M. 2002. Manual de laboratorio para análisis físico químico del suelo. S.I. ICRF – CHEMONICS. 48 p.
- BARRIOS, R., FLORENTINO, A. 2009. Variabilidad espacial de las propiedades físicas de dos suelos cultivados con palma aceitera en el estado Monagas, Venezuela. Revista 912 UDO Agrícola 9 (4):912-924.
- BRUZ, D. J., DE GRUIJTER, J., BARSMAN, B., VISSCHERS, R., BREGT, A., BREWUWSMA, A., BOUMA, J. 1996. The performance of spatial interpolation methods and choropleth maps to estimate properties at points: a soil survey case study. *Environmetrics*. 7(1):1-16.
- BUCKMAN, H. 1985. Naturaleza y propiedades de los suelos. Hispano Americano UTEHA, México. 509 p.
- BURROUGH, P.A. 1986. Soil variability: a late 20th century view. *Soils and Fertilizers*. 56 (5): 529-562.
- CALZADA, J. 1996. Métodos estadísticos para la investigación. 6 ed. Lima, Perú, Jurídica S.A. 643 p.
- CARVAJAL, J.F.; LÓPEZ, C.A. 1963. Efecto del pH del substrato en el crecimiento y la absorción del café. *Rev. Biol. Trop.*, 11(2): 141-155.

- 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.
- DURÁN, N., ORTÍZ, R.A. 1995. Efecto de algunas propiedades físicas del suelo y la precipitación sobre la producción de la palma aceitera (*Elaeis guineensis*) en Centroamérica. *Agronomía Mesoamericana* 6:7-14.
- FASSBENDER, H. 1987. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. 2 ed. IICA, San José, Costa Rica.
- FASSBENDER, H.W. 1975. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. Instituto Iberoamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA. Turrialba, Costa Rica. 398 p.
- FASSBENDER, H., BORNEMISZA, E. 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]: (<http://.www.etsimo.uniovi.es/~felj>, documentos, feb. 2013).
- GARCÍA, O.A. 2001. Conceptos sobre el uso del análisis de suelos como herramienta para el diagnóstico de la fertilidad de suelo. En: *Memorias del Manejo Productivo del Suelo*. pp. 63 – 75.
- GONZALES, F. 2008. Ecofisiología de la palma aceitera. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú. 28 p.

- GONZÁLEZ, A., ATENCIO, J., GARCÍA, B. 2011. Efecto del cultivo de palma aceitera y pastizales sobre algunas propiedades de los suelos. Rev. Fac. Agron. (LUZ). 2011, 28 Supl. 1: 478-491.
- GOOVAERTS, P. 1999. Geostatistics in soil science: state of the art and perspectives. Geoderma 89 (1-2): 1-45.
- GUERRERO, J. 2000. El suelo, los abonos y la fertilización de los cultivos. 2 ed. Aedos. S.A., España.
- HAROLD, W., HOCKER, J.R. 1984. Introducción a la biología forestal. AGT Editor. México.
- HENGL, T., ROSSITER, D.G. 2003. Concep mapping for soil survey: the use of soil-environmental variables to predict soil type and soil properties distribution. NRM, ITC MSc Program. Enschede, The Netherlands.
- 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.
- 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.
- JARAMILLO, D. 2003. Introducción a la Ciencia del Suelo. Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín. pp 553-572.

- McBRATNEY, A.B., MEDONCA SANTOS, M.L., MINASNY, B. 2003. On digital soil mapping. *Geoderma* 117: 3-52.
- MEJÍA A.E., ACOSTA, W.E., DIOSDADO, H.B. 2010. Distribución espacial de los suelos de un área productiva de palma de aceite (*Elaeis guineensis* L.) en San Lorenzo, Ecuador. XII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. 13 p.
- MONTGOMERY, D.G. 2011. Diseño y análisis de experimentos. 2 ed. Universidad Estatal de Arizona. Limusa Wiley, Balderas 95, México. 700 p.
- MORENO, M.T. 2011. Variabilidad espacial de las propiedades físicas, químicas y biológicas de dos suelos agrícolas de la provincia de Quebec, Canadá. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*. 2011, 28: 223-241
- NAVARRO, G. 2003. Química agrícola. El suelo y los elementos químicos esenciales en la vida vegetal. 2 ed. Mundi Prensa, España.
- OVALLES, F. 1992. Metodología para determinar la superficie representada por muestras tomadas con fines de fertilidad. FONAIAP-CENIAP-IIAG. Maracay. 44 p.
- REYES, R., PEÑA, E.A., BELALCÁZAR, S. 2005. Todo sobre palma de aceite. Preguntas y respuestas sobre el cultivo de palma de aceite. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA). Colombia. 20 p.

- ROSSITER, D.G. 2005. Digital Soil Mapping: towards a multiple use of Soil Information System. Semana de la Geomática 2005. Santa Fe de Bogotá, Colombia.
- SÁENZ, L.E. 2006. Cultivo de la palma Africana (*Elaeis guineensis*); Guía técnica. IICA. Managua, Nicaragua. 27 p.
- SÁNCHEZ, J. 2007. Fertilidad del suelo y nutrición mineral de plantas; Conceptos básicos. FERTITEC S.A. 19 p.
- SERRADA, R. 2008. Apuntes de Selvicultura; Influencia de los factores ecológicos en la vegetación. Servicio de Publicaciones. EUIT Forestal. Madrid, España. pp 94- 96.
- 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.
- 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.

- VÁZQUEZ, A.A. 1997. "Guía para interpretar el análisis químico del agua y suelo". 2 ed. Departamento de suelo. Universidad autónoma Chapingo. México.
- WEBSTER, R., BIRGESS, T.M. 1971. Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties. Part 3 Changing drift and universal Kriging. En: The Journal of soil Science. Vol. 31. No. 3. 505 – 524.
- WEBSTER, R., BURGESS, T.M. 1980. Optimal interpolation and isarithmic mapping 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 Concentración y Tecnología. Lima, Perú.
- ZHU, A. X. 2001b. Soil Mapping using GIS, Expert Knowledge & Fuzzy Logic. SOLIM Workshop.
- ZHU, A.X. 2001a. Sensitivity analysis of ecological models to soil information. Wisconsin, University of Wisconsin.
- ZHU, A.X., BAND, L.E., DUTTON, B., NIMLOS, T. 1996. Automated Soil Inference Under Fuzzy Logic. Ecological Modelling 91(2): 123-145.

ANEXO

Anexo 1. Datos registrados

Cuadro 24. Datos registrados de los palmicultores de la ASPASH.

Sector		Nombre		L	UTM	pH	N (%)	P ₂ O ₅ (ppm)	K ₂ O	Rdto/ha
Erika Libertad	Andina	Moreno	Gerónimo	433276	9002670	4.81	0.11	6.09	0.21	8.03
Erika Libertad	Pérez	Alegría	Karina	433468	9002548	4.54	0.11	6.47	0.23	18.81
Erika Libertad	Romero	Moreno	Justina	433380	9002698	4.77	0.12	8.12	0.24	5.67
Río Blanco	Alegría	Rivera	Victoria	431283	9001443	4.45	0.11	5.33	0.18	12.69
Río Blanco	Andrés	Ciriaco	Ceferina	434184	9003171	4.61	0.11	6.09	0.21	17.54
Río Blanco	Cabrera	Salazar	Juvenal	435385	9004493	4.43	0.11	5.07	0.17	18.23
Río Blanco	Chancos	Rodríguez	Máximo	434213	9004136	4.77	0.12	5.58	0.19	14.90
Río Blanco	Chilce	Rodríguez	Inocencio	434264	9003732	4.37	0.12	5.58	0.19	18.12
Río Blanco	Díaz	Bravo	Deny	434676	9004572	4.47	0.11	5.58	0.19	18.17
Río Blanco	Fabián	Carhuancho	Roberto G.	435323	9005110	4.46	0.11	5.45	0.18	8.62
Río Blanco	Hireña	Barreto	Angélica	434306	9004071	4.47	0.11	5.58	0.19	27.85
Río Blanco	Huamani	Flores	Fortunato	433751	9004615	4.4	0.12	4.69	0.15	20.21

Sector	Nombre			L	UTM	pH	N (%)	P₂O₅ (ppm)	K₂O	Rdto/ha
Río Blanco	Huarco	Rojas	Herlinda	435634	9005441	4.38	0.11	4.44	0.14	16.28
Río Blanco	Encarnación	Illena	Antonio	435202	9005693	4.36	0.1	5.45	0.13	34.08
Río Blanco	Jiménez	Fernández	Máximo P.	434191	9003009	4.27	0.11	4.31	0.19	17.05
Río Blanco	Pardave	Agüero	Cruz	435264	9004185	4.56	0.12	6.72	0.24	29.26
Río Blanco	Salazar	Charre	Teodolinda	434103	9002869	4.27	0.12	5.58	0.24	24.57
Río Blanco	Solís	Torres	Edwin P.	434761	9004510	4.32	0.11	4.95	0.11	14.34
Río Blanco	Urbano	Albino	Sadi Trance	433818	9003914	4.37	0.12	4.31	0.14	17.76
Micaela Bastidas	Cervantes	Ciriaco	Edilberto	432806	9006553	4.73	0.12	6.34	0.22	17.16
Micaela Bastidas	Cervantes	Eusebio	Demetria	433133	9006014	5.02	0.12	69.39	0.29	9.12
Micaela Bastidas	Flores	Estacio	Victorio	433790	9007760	4.52	0.13	6.22	0.21	19.68
Micaela Bastidas	Flores	Estacio	Roque	433586	9007889	4.96	0.13	9.51	0.28	25.50
Micaela Bastidas	García	Arango	Jaime	435070	9008526	4.54	0.12	6.47	0.23	18.91
Micaela Bastidas	Isidro	Pujay	Mauro	433511	9007023	4.94	0.14	5.84	0.2	22.82
Micaela Bastidas	Mori	Mego	Abner	433650	9007531	5.08	0.13	7.23	0.26	32.04
Micaela Bastidas	Mori	Mego	José	433090	9007524	4.85	0.14	6.98	0.25	13.14
Micaela Bastidas	Mori	Mego	Wilson	433441	9007560	4.97	0.12	7.74	0.27	30.47

Sector		Nombre		L	UTM	pH	N (%)	P ₂ O ₅ (ppm)	K ₂ O	Rdto/ha
Micaela Bastidas	Pascual	Eusebio	Bartolina	434421	9008685	4.37	0.13	4.31	0.14	13.94
Mediación	Andrés	Cabia	Viket	432114	9005985	4.82	0.14	4.95	0.16	11.90
Mediación	Ayllon	Jesús	Guillermo	431112	9005080	4.62	0.13	8.4	0.21	23.92
Mediación	Guerrero	Lavajos	Rita	431270	9005293	4.51	0.13	6.09	0.21	20.85
Mediación	Lujan	Tineo	Agustín	431814	9005426	4.25	0.13	4.44	0.14	9.19
Mediación	Palomino	Becerra	Honorato	430763	9006415	4.74	0.13	6.47	0.23	17.84
Mediación	Pilco	Miranda	Karina	430688	9005792	4.44	0.14	5.2	0.17	10.50
Mediación	Ríos	Nieto	Elena	430343	9007785	4.78	0.13	6.34	0.33	13.72
Mediación	Simón	Azucena	Abdón	430896	9005258	4.74	0.14	7.74	0.24	9.10
Mediación	Valentín	Faustino	Livia Nelsy	430715	9006686	4.86	0.13	7.99	0.25	21.13
Selva Turística	Aceijas	Quiñones	Segundo	436178	9008700	4.57	0.13	2.79	0.21	10.84
Selva Turística	Aceijas	Ramón	Felipe	436398	9008490	4.4	0.12	5.45	0.09	79.89
Selva Turística	Adriano	Justo	Cayo	435004	9006990	4.46	0.13	6.34	0.11	8.87
Selva Turística	Cabrera	Baylon	Placido	435839	9010096	4.09	0.13	7.1	0.21	17.97
Selva Turística	Capcha	Ramos	Elsa	435924	9011690	4.13	0.13	4.19	0.06	22.43

Sector		Nombre		L	UTM	pH	N (%)	P ₂ O ₅ (ppm)	K ₂ O	Rdto/ha
Selva Turística	León	Betaleon	Abraham	435650	9019283	4.4	0.14	6.72	0.3	23.82
Selva Turística	Meza	Poves	Alejandro	435112	9017378	4.58	0.12	4.57	0.14	17.51
Selva Turística	Morales	De La Cruz	Lee	435834	9019748	4.48	0.13	3.68	0.1	17.31
Selva Turística	Pérez	Trujillo	Raúl	435275	9017727	4.48	0.13	2.79	0.14	12.05
Selva Turística	Pérez	Tello	Raúl	435350	9017823	4.31	0.14	6.72	0.35	21.06
Selva Turística	Quispe	Espinoza	Niceas F.	435809	9010410	4.37	0.13	4.19	0.26	16.90
Selva Turística	Rojas	León	Percy	435681	9019446	4.24	0.14	4.31	0.22	15.79
Selva Turística	Tucto	Céspedes	Vilma	435803	9010534	4.52	0.12	6.85	0.19	14.50
Selva Turística	Valdez	Javier	Tania	434832	9017108	4.48	0.12	3.42	0.28	23.75
Selva Turística	Vásquez	Suyo	Santos	435508	9018612	4.11	0.14	4.31	0.26	17.96
Selva Turística	Vásquez	Jiménez	Amalia	435297	9008186	4.73	0.12	3.93	0.11	32.41
Boquerón	Atencia	Solís	Aurelia	430135	8999199	4.18	0.12	5.84	0.26	23.65
Boquerón	Atencia	Solís	Roberto	429990	8999156	4.72	0.12	9.13	0.25	16.05
Boquerón	Fabián	Nazar	Vannesa	429634	8998742	4.8	0.13	7.36	0.26	17.34
Boquerón	Goicochea	Rebaza	Enrique	431546	8999774	4.76	0.12	5.45	0.28	20.63

Sector		Nombre		L	UTM	pH	N (%)	P₂O₅ (ppm)	K₂O	Rdto/ha
Boquerón	Huerta	Armillan	Daria	430372	8999729	4.05	0.12	8.5	0.34	15.09
Boquerón	Morales	Pajuelo	Nilda Edita	429718	8998074	4.26	0.13	6.85	0.3	20.92
Boquerón	Palmi	Herrera	Victor	430886	8998815	4.7	0.13	5.96	0.2	25.48
Boquerón	Rodas	Hernández	Adriano	429899	8999364	4.72	0.13	9.89	0.27	15.71
Boquerón	Rodríguez	Martínez	Avilio	429590	8997968	4.1	0.13	5.84	0.26	16.64
Shambillo B	Arévalo	Ojeda	Judson	431537	9003699	5.29	0.12	8.37	0.21	16.55
Shambillo B	Céspedes	Calixto	Ruiz	433796	9003168	4.28	0.12	4.44	0.16	26.67
Shambillo B	Centeno	Balbín	Luz marina	434826	9007446	4.47	0.11	5.58	0.18	17.63
Shambillo B	De Souza	Nolorbe	Rolando	434953	9007196	4.43	0.12	5.07	0.17	17.99
Shambillo B	Eusebio	Jacinto	Nicolás	430820	9002634	4.65	0.13	7.86	0.18	14.37
Shambillo B	Fabián	Cabia	Juana	432781	9004182	4.76	0.12	7.99	0.19	19.90
Shambillo B	Flores	Fabián	Daniel	433377	9004588	4.44	0.12	5.2	0.17	12.66
Shambillo B	Hidalgo	Ramírez	Percy	432728	9002565	4.64	0.13	7.74	0.21	10.42
Shambillo B	Lujan	Andres	Marcelino	432352	9003872	4.69	0.13	8.37	0.18	18.23
Shambillo B	Montesinos	Isidro	Manuel	431437	9003347	4.63	0.12	7.61	0.18	13.59

Sector	Nombre			L	UTM	pH	N (%)	P₂O₅ (ppm)	K₂O	Rdto/ha
Shambillo B	Mori	Santin	Miguel	433584	9004586	4.73	0.13	7.61	0.19	10.78
Shambillo B	Ortiz	Ramos	Abilio	431750	9003361	4.42	0.12	4.95	0.18	12.56
Shambillo B	Ramirez	Benítez	Margarita	432637	9002688	4.75	0.12	9.13	0.19	11.01
Shambillo B	Ríos	Ortiz	Fermín	432039	9003594	4.76	0.13	9.26	0.21	22.75
Shambillo B	RIVERA	MARTEL	MAGNA	431475	9003200	4.63	0.13	7.61	0.18	10.75
Shambillo B	SANCHEZ	VELASQUEZ	ELENCIO	431686	90024909	4.72	0.13	8.5	0.19	9.98
Shambillo B	TARAZONA	TRUJILLO	GABRIELA	431200	9002897	4.55	0.11	6.6	0.18	31.89
Shambillo B	TORRES	ISIDRO	NORMA	431710	9003551	4.68	0.14	8.25	0.19	14.76
Shambillo B	Urbano	Ciriaco	Paulo C.	433732	9005111	4.26	0.13	4.19	0.16	24.56
Shambillo A	Adriano	Damián	Nasario	432157	9004348	4.41	0.11	4.82	0.17	8.90
Shambillo A	Adriano	Damián	Wilder	431325	9010442	4.64	0.11	7.74	0.19	19.79
Shambillo A	Adriano	Díaz	Sofía	433058	9005847	4.54	0.11	6.47	0.18	24.45
Shambillo A	Albornoz	Dávila	Elizabeth	432046	9005160	4.48	0.13	5.96	0.18	23.74
Shambillo A	Andrés	Santiago	América	431027	9003974	4.6	0.12	7.23	0.2	16.31
Shambillo A	Calixto	Espinoza	María	431594	9005000	4.69	0.11	8.37	0.19	21.35

Sector	Nombre			L	UTM	pH	N (%)	P₂O₅ (ppm)	K₂O	Rdto/ha
Shambillo A	Cervantes	Charre	Eusebio	432609	9006377	4.5	0.13	5.96	0.18	19.78
Shambillo A	Cervantes	Ciriaco	Yhonel	432971	9006068	4.67	0.11	8.12	0.19	14.56
Shambillo A	Céspedes	Astete	Zomeli	432676	9005456	4.68	0.12	8.25	0.25	18.29
Shambillo A	Ciriaco	Urbano	Tolentina	432382	9006218	4.58	0.13	6.98	0.18	18.80
Shambillo A	Dávila	Panduro	Rosenda	431238	9004222	4.57	0.12	6.85	0.18	19.02
Shambillo A	Eusebio	Bustillos	Marcos	431345	9003835	4.48	0.13	5.71	0.17	6.01
Shambillo A	Félix	Padilla	Lorgio	431134	9003888	4.71	0.12	8.12	0.21	17.82
Shambillo A	García	Gutiérrez	German	432219	9005661	4.58	0.12	6.98	0.23	17.20
Shambillo A	Jorge	Jaimes	Cesar T.	431764	9004068	4.7	0.12	6.6	0.2	15.19
Shambillo A	Lujan	Villanueva	Alejandrina	431944	9004959	4.55	0.11	6.6	0.18	15.04
Shambillo A	Nolasco	Alejandro	Patricio	432144	9006176	4.62	0.21	7.48	0.19	18.31
Shambillo A	Ramos	Bonifacio	Juvenal	430621	9004234	4.65	0.11	7.86	0.19	8.81
Shambillo A	Retis	Rueda	Dionisio	432135	9004660	5.02	0.11	7.48	0.22	22.07
Shambillo A	Reyes	Ciriaco	Juana	432472	9005770	4.63	0.12	7.61	0.22	14.88
Shambillo A	Valentín	Lujan	Omar	432200	9004392	4.47	0.12	5.58	0.22	15.04

Sector	Nombre			L	UTM	pH	N (%)	P₂O₅ (ppm)	K₂O	Rdto/ha
Shambillo A	Valentín	Dávila	Eduardo	432043	9005013	4.48	0.12	5.71	0.21	18.93
Shambillo A	Valentín	Díaz	Eucario	432250	9005510	4.59	0.12	7.1	0.24	15.48
Río Negro	Alva	Vargas	Linder	436363	9008731	4.75	0.13	5.33	0.35	18.31
Río Negro	Bejarano	Lorenzo	Armando	436482	9008616	4.57	0.13	4.06	0.36	12.33
Río Negro	Caballero	Lagomarcino	Juan	436650	9006646	4.47	0.12	5.58	0.15	10.81
Río Negro	Díaz	Del Olmo	Bertha Maritza	436650	9006646	4.7	0.15	3.3	0.14	15.40
Río Negro	Espinoza	Aldava	Epifanio	436738	9007703	4.87	0.13	3.68	0.04	23.15
Río Negro	Esteban	Sixto	Omar O.	436584	9008525	4.83	0.14	5.07	0.09	22.01
Río Negro	Flores	Sixto	Liz Beth	436797	9008097	4.27	0.14	4.31	0.22	16.27
Río Negro	Martínez	Vásquez	Zein	436649	9006492	4.94	0.16	6.72	0.27	17.20
Río Negro	Martínez	Vela	Amira	436649	9006492	4.71	0.16	7.86	0.17	16.47
Río Negro	Meza	Rivera	Elba	436043	9009111	4.82	0.16	5.96	0.3	22.03
Río Negro	Parada	Patricio	Moisés	436743	9008236	4.84	0.16	5.84	0.15	19.49
Río Negro	Ramírez	Cabrera	Dulia	436737	9007703	4.62	0.16	3.81	0.19	9.66
Río Negro	Sixto	Torres	Ignacia Yola	436797	9008097	4.05	0.14	3.55	0.29	17.00

Sector	Nombre			L	UTM	pH	N (%)	P₂O₅ (ppm)	K₂O	Rdto/ha
Río Negro	Torres	Aguirre	Bárbara	436243	9008731	4.87	0.15	2.54	0.15	12.43
Avelino	Aliaga	Rivera	Cesar A.	435403	9010324	4.01	0.13	4.69	0.23	13.43
Avelino	Aliaga	Rivera	Adolfo	435580	9010178	4.19	0.13	5.84	0.23	25.87
Avelino	Asencio	Cajas	Laura	435325	9011225	4.43	0.13	5.07	0.22	30.27
Avelino	Balbín	Balbín	Jerónimo	435532	9011785	4.21	0.12	2.28	0.21	17.53
Avelino	Bernardo	Ambicho	Mansueto	435204	9011426	4.29	0.15	5.84	0.24	24.19
Avelino	Calderón	Gallegos	Nelly	435750	9011924	4.01	0.13	4.82	0.21	13.06
Avelino	Cámara	Montoya	Felicísimo	435067	9011085	4.66	0.12	6.72	0.25	25.34
Avelino	Evaristo	Narciso	Abilia	435198	9010856	4.54	0.16	5.2	0.23	23.94
Avelino	Gómez	Rivera	Arcadio	435028	9010901	4.45	0.12	5.33	0.24	22.17

Cuadro 25. Clase textural en las muestras de suelos.

Clase textural	Muestras	Porcentaje (%)
Arenas	0	0
Arenas Franca	0	0
Franco Arenoso	55	36.67
Franco Arenoso fino	0	0
Franco Arenoso muy fino	0	0
Franco	93	62
Franco Limoso	1	0.67
Limoso	0	0
Franco Arcilloso	0	0
Franco Arcillo Arenoso	1	0.67
Franco Arcillo Limoso	0	0
Arcillo-Arenoso	0	0
Arcillo-Limoso	0	0
Arcilloso	0	0
Total	150	100

Anexo 2. Panel fotográfico



Figura 16. Planta de palma aceitera.



Figura 17. Plantación de palma aceitera.



Figura 18. Georreferenciación de una plantación.



Figura 19. Muestreo de suelos.



Figura 20. Colecta de muestras de suelos.



Figura 21. Palma aceitera con síntomas de marchitez.