

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES



**DISTRIBUCION ESPACIAL POR UNIDADES FISIOGRAFICAS, LAS
PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS DE LOS SUELOS CON PALMA
ACEITERA (*Elaeis guineensis* Jacq), NUEVA REQUENA – UCAYALI**

Tesis

Para optar al título de:

**INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES MENCIÓN
CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA**

SAHADAN AGUSTIN GONZALES VASQUEZ

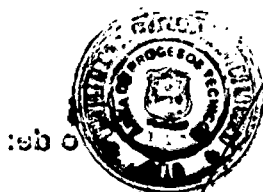
Tingo María – Perú

2015



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

DISTRIBUCION ESPACIAL POR UNIDADES FISIOGRAFICAS, LAS
PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS DE LOS SUELOS CON PALMA
ACEITERA (*Elaeis guineensis* Jacq), NUEVA REQUENA - UCAYALI



CONSERVACION DE SUELOS Y AGUA

Gonzales Vasquez, Sahadan Agustin

Distribución espacial por unidades fisiográficas, las propiedades físicas y químicas de los suelos con Palma Aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq), Nueva Requena ; Ucayali

103 paginas.; 28 cuadros; 37 fgrs.; 43 ref.; 30 cm.

Tesis (Ing. Recursos Naturales Renovables Mención: Conservación de Suelos y Agua) Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María (Perú). Facultad de Recursos Naturales Renovables.

1. FISIOGRAFÍA 2. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

3. CARACTERIZAR 4. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María – Perú



FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 23 de octubre del 2015, a horas 11:00 a.m. en la Sala de Sesiones del Departamento Académico de Ciencias en Conservación de Suelos y Agua de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, para calificar la Tesis titulada:

“DISTRIBUCIÓN ESPACIAL POR UNIDADES FISIOGRAFICAS, LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LOS SUELOS CON PALMA ACEITERA (*Eleaëis guineensis* Jacq), NUEVA REQUENA - UCAYALI”

Presentado por el Bachiller: **GONZÁLES VÁSQUEZ, Sahadan Agustín**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara aprobado con el calificativo de **“MUY BUENO”**

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

Tingo María, 03 de noviembre de 2015.

Ing. M.Sc. **LUCIO MANRIQUE DE LARA SUÁREZ**
PRESIDENTE

Ing. **JAIME TORRES GARCÍA**
VOCAL

Ing. Mg. **WILFREDO ALVA VALDIVIEZO**
VOCAL

Ing. M.Sc. **JOSÉ LÉVANO CRISÓSTOMO**
ASESOR



DEDICATORIA

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

A mis padres, José Marino, GONZALES
VILLALOBOS y Emilia VASQUEZ
GONZALES, 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 mis hermanos Luis Antonio, y
José Marino GONZALES
VASQUEZ, por su apoyo y
palabras de aliento, a mí amigo
Héñry Fernando, CHOTA
GUERRA por su confianza,
constante entusiasmo y muestra
de 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 quienes entregaron todos sus conocimientos y experiencias para formar buenos profesionales.

A los miembros de jurado Ing. M.Sc. Lucio Manrique de Lara Suarez, Presidente, Ing. Jaime Torres Garcia, Ing. Mg. Wilfredo Alva Valdiviezo e Ing. Juan Pablo Rengifo Trigozo, miembros del jurado calificador del trabajo de investigación.

Al Ing. M.Sc. José Lévano Crisóstomo y al Ing. Ricardo Martín Chaves Asencio por el apoyo desinteresado como asesores de este trabajo de investigación. Muchas gracias por sus paciencia, confianza y dedicación.

A mis amigos Randy Hoyos Lozano; Jimmy, Saldaña Valdez; Culquicondor Infante, Carlos Eduardo; Gálvez Córdova, Max Jean; Garay Saravia, Daniel; Paredes Salas, Lisbeth y Ordoñez Gómez, Maricarmen, quienes compartieron conmigo una amistad genuina, fueron mi apoyo durante la ejecución del presente trabajo.

ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1. Mapeo o cartografía digital del suelo.....	4
2.2. Métodos de interpolación y extrapolación	9
2.2.1. Media aritmética.....	9
2.2.2. Red irregular de triangulación (TIN).....	10
2.2.3. Interpolación ponderada por el universo o la distancia (IDW).....	10
2.2.4. Método modificado de Shepard.....	11
2.2.5. Curvatura mínima (Spline).....	11
2.2.6. Polígonos de Thiessen	12
2.2.7. Kriging	12
2.3. Técnicas exploratorias de los datos	16
2.4. Palma aceitera (<i>Elaeis guineensis</i> Jaq).....	17
2.5. Propiedades físicas del suelo.....	18
2.5.1. Textura del suelo	18
2.5.2. Clase textural	18
2.6. Propiedades químicas del suelo.....	20
2.6.1. Reacción del suelo.....	20
2.6.2. El pH.....	20
2.6.3. Escala del pH.....	21
2.6.4. Factores que afectan el pH.....	22
2.7. Materia orgánica.....	23
2.7.1. Niveles de materia orgánica	24
2.8. Capacidad de intercambio catiónico.....	24

2.8.1. Capacidad de intercambio catiónico en los suelos	25
2.8.2. Factores de CIC.....	26
2.8.3. Importancia de la capacidad de cambio.....	27
2.9. Nutrientes	28
2.9.1. El fósforo en el suelo	28
2.9.2. El potasio en el suelo.....	29
2.9.3. El nitrógeno en el suelo	30
2.10. Estudio de suelo	30
2.10.1. Partes del estudio de suelos.....	31
2.10.2. Mapa de suelo	31
2.10.3. Unidades de mapeo	31
2.10.4. Levantamiento de suelos.....	32
2.10.5. Modelo de mapa.....	32
2.10.6. Modelo digital del terreno (MDT)	32
2.11. Distribución espacial.....	32
2.12. Trabajos anteriores relacionados	34
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	37
3.1. Características generales del área de estudio	37
3.1.1. Ubicación	37
3.1.2. Fisiografía	37
3.1.3. Clima.....	37
3.1.4. Ecología	38
3.1.5. Hidrología	38
3.1.6. Accesibilidad.....	38
3.2. Materiales y equipos.....	40

3.3. Metodología.....	40
3.3.1. Fase de campo	40
3.3.1.1. Identificación del lugar	40
3.3.1.2. Determinación de número de muestras.....	40
3.3.1.3. Muestreo de suelos y registro de datos.....	40
3.3.1.4. Anotaciones diversas	41
3.3.2. Fase de laboratorio	41
3.3.2.1. Análisis físico químico del suelo	41
3.3.2.2. Elaboración de mapa temático	42
3.3.3. Variables e indicadores.....	43
3.3.3.1. Variable independiente (X)	43
3.3.3.2. Variable dependiente (Y).....	44
3.3.4. Fase final de gabinete.....	44
IV. RESULTADOS	45
IV. DISCUSIÓN	89
IV. CONCLUSIONES	95
VII. RECOMENDACIONES	96
VIII. ABSTRACT.....	97
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	98
X. ANEXO	103

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Agrupamiento general de las clases texturales	19
2. Niveles de pH del suelo	22
3. Niveles de la materia orgánica.....	24
4. Niveles de la capacidad de intercambio catiónico (pH > 5.5).....	27
5. Niveles de la capacidad de intercambio catiónico (pH > 5.5).....	27
6. Niveles de contenido de fósforo (método de Olsen).....	29
7. Niveles de contenido de potasio disponible	29
8. Niveles de contenido de nitrógeno.....	30
9. Indicadores de suelos y métodos de determinación	42
10. Distribución de áreas según unidades fisiográficas de la parcela con palma aceitera.....	45
11. Análisis físico y químico de los suelos de la parcela con cultivo de palma aceitera	56
12. Distribución porcentual de áreas con rangos de arena en suelos con cultivo de palma aceitera	57
13. Distribución porcentual de áreas con rangos de limo en suelos con cultivo de palma aceitera	59
14. Distribución porcentual de áreas con rangos de arcilla en suelos con cultivo de palma aceitera	61
15. Distribución porcentual de áreas con rangos de materia orgánica en suelos con cultivo de palma aceitera	63
16. Distribución porcentual de áreas con rangos de pH en suelos con cultivo de palma aceitera	65

17.	Distribución porcentual de áreas con rangos de nitrógeno en suelos con cultivo de palma aceitera	67
18.	Distribución porcentual de áreas con rangos de fósforo en suelos con cultivo de palma aceitera	69
19.	Distribución porcentual de áreas con rangos de potasio en suelos con cultivo de palma aceitera	71
20.	Distribución porcentual de áreas con rangos de CICe en suelos con cultivo de palma aceitera.....	73
21.	Distribución porcentual de áreas con rangos de bases cambiables en suelos con cultivo de palma aceitera.....	75
22.	Distribución porcentual de áreas con rangos de calcio en suelos con cultivo de palma aceitera	77
23.	Distribución porcentual de áreas con rangos de magnesio en suelos con cultivo de palma aceitera.....	79
24.	Distribución porcentual de áreas con rangos de saturación de aluminio en suelos con cultivo de palma aceitera	81
25.	Distribución porcentual de áreas con rangos de acidez cambiabile en suelos con cultivo de palma aceitera.....	83
26.	Distribución porcentual de áreas con rangos de aluminio en suelos con cultivo de palma aceitera	85
27.	Distribución porcentual de áreas con rangos de hidrógeno en suelos con cultivo de palma aceitera	87
28.	Toma de muestra de los suelos con sus coordenadas del cultivo de palma aceitera.....	104

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Error por omisión en el levantamiento de suelos convencional	6
2. Error por atributo en el levantamiento de suelos convencional	8
3. Método de interpolación kriging	13
4. Mapa de ubicación de la parcela con cultivo de palma aceitera	39
5. Distribución espacial por unidades fisiográficas de la parcela con cultivo de palma aceitera	46
6. Contenido de materia orgánica por unidad fisiográfica	47
7. pH de suelo por unidad fisiográfica	48
8. Fósforo disponible de los suelos por unidades fisiográficas	48
9. Potasio disponible de los suelos por unidades fisiográficas	49
10. Nitrógeno total de los suelos por unidades fisiográficas	50
11. CICe de los suelos por unidades fisiográficas	50
12. Bases cambiables de los suelos por unidades fisiográficas	51
13. Acidez cambiante de los suelos por unidades fisiográficas	52
14. Contenido de calcio en los suelos por unidades fisiográficas	52
15. Contenido de magnesio en los suelos por unidades fisiográficas	53
16. Contenido de aluminio en los suelos por unidades fisiográficas	54
17. Contenido de hidrógeno en los suelos por unidades fisiográficas	54
18. Mapa de distribución espacial de arena en los suelos con cultivo de palma aceitera	58
19. Mapa de distribución espacial de limo con cultivo de palma aceitera	60
20. Mapa de distribución espacial de arcilla con cultivo de palma aceitera	62

21.	Mapa de distribución espacial de materia orgánica con cultivo de palma aceitera	64
22.	Mapa de distribución espacial de pH con cultivo de palma aceitera	66
23.	Mapa de distribución espacial de nitrógeno con cultivo de palma aceitera	68
24.	Mapa de distribución espacial de fósforo con cultivo de palma aceitera.....	70
25.	Mapa de distribución espacial de potasio con cultivo de palma aceitera.....	72
26.	Mapa de distribución espacial de la ClCe con cultivo de palma aceitera.....	74
27.	Mapa de distribución espacial de bases cambiables con cultivo de palma aceitera.....	76
28.	Mapa de distribución espacial de calcio con cultivo de palma aceitera.....	78
29.	Mapa de distribución espacial de magnesio con cultivo de palma aceitera.....	80
30.	Mapa de distribución espacial con saturación de aluminio en el cultivo de palma aceitera	82
31.	Mapa de distribución espacial con acidez cambiante en el cultivo de palma aceitera	84
32.	Mapa de distribución espacial de aluminio en el cultivo de palma aceitera	86

33.	Mapa de distribución espacial de hidrógeno en el cultivo de palma aceitera.....	88
34.	Área de terreno con instalación del cultivo de palma aceitera.....	105
35.	Muestreo de suelo en el área con cultivo de palma aceitera.....	105
36.	Unidad fisiográfica de una terraza baja no inundable.....	106
37.	Pedón de suelo para ser enviado al laboratorio de suelos UNAS.....	106

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo caracterizar e interpretar por unidades fisiográficas las propiedades físicas y químicas de los suelos, así como representar a través de la distribución geoespacial a partir del uso del SIG en el sector Zanja Seca distrito Nueva Requena – Ucayali. La metodología empleada en la fase de campo fue: identificación del lugar, determinación del número de muestras, muestreo de suelos y registro de datos y anotaciones diversas; en la fase de laboratorio fue: análisis fisicoquímicos del suelo y en la fase final de gabinete: elaboración de los mapas temáticos, así como la evaluación estadística de las variables en estudio. Como resultado se caracterizó e interpretó el comportamiento de las propiedades fisicoquímicos de los suelos como son textura franco arcillo arenoso a franco, pH extremadamente ácido, contenido medio a bajo en materia orgánica, nivel medio a bajo en nitrógeno, nivel muy bajo en oxido de potasio, capacidad de intercambio catiónico efectiva o potencial de nutrientes y bases cambiables es bajo, aluminio e hidrogeno, con respecto a cada unidad fisiográficas; se representó cartográficamente en mapas temáticos, la distribución geoespacial de las propiedades fisicoquímicas de los suelos, determinando las áreas de los niveles de la textura, pH, materia orgánica, nitrógeno, oxido de potasio, capacidad de intercambio catiónico efectiva, bases cambiables, aluminio e hidrogeno, por unidades fisiográficas, determinando que el área de terreno del sector Zanja Seca distrito Nueva Requena - Ucayali, tienen los suelos propicios para la producción del cultivo de palma aceitera.

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.

Para determinar las características de un determinado suelo se debe de realizar un muestreo, las muestras enviarlas al laboratorio para los análisis correspondientes a partir del cual se conocerán las limitaciones así como determinar cuál es el uso y manejo más adecuado que debería dársele.

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.

Debido a esto se propone efectuar el análisis e interpretación de la distribución espacial del suelo por unidades fisiográficas de algunas propiedades físicas y químicas de los suelos del cultivo de Palma Aceitera *Elaeis guineensis* jacq. En el distrito de nueva Requena - Ucayali, mediante análisis en laboratorio de suelos y georeferenciadas en distintos puntos del sector zanja seca y así poder determinar el estado actual del suelo y como varían en espacio y tiempo.

Las características del suelo, limita la precisión de las recomendaciones de fertilización, que en la mayoría de los cultivos, entre los que se destacan la palma de aceite, se hacen sobre el supuesto de un comportamiento similar del suelo y bajo condiciones específicas de manejo (WEBSTER y BURGESS, 1985).

La variabilidad espacial alude a los cambios sufridos en las características a lo largo de un área determinada, por lo cual es necesario contar con datos recolectados en posiciones precisas, sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos, así como sobre el rendimiento del cultivo (FELICISIMO, 1994).

Se manifiesta que el uso de distribución de las propiedades físicas y químicas permite observar la diversidad de suelos en un determinado área. A partir de la distribución espacial de las propiedades físicas y químicas nos permitirá demarcar en forma homogénea los suelos con cultivo de palma aceitera en el sector zanja seca del distrito nueva requena, provincia de Coronel Portillo, departamento de Ucayali. En base a esta problemática se genera la interrogante como ¿de qué manera la distribución espacial por unidades fisiográficas, las

propiedades físicas químicas del suelo influirán en la palma aceitera, distrito nueva requena? Planteándose para ello la hipótesis: la palma aceitera establecida por unidades fisiográficas nos permitirá demarcar en forma homogénea las propiedades físicas químicas del suelo y con ello los nutrientes del suelo en el sector zanja seca distrito nueva requena, basándonos en esas afirmaciones se plantea los siguientes objetivos:

1.1. Objetivo general

Evaluar la distribución espacial por unidades fisiográficas, las propiedades físicas y químicas de los suelos con palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.), Nueva Requena - Ucayali.

1.2. Objetivos específicos:

- Caracterizar e interpretar por unidades fisiográficas las propiedades físicas y químicas de los suelos en el sector Zanja Seca distrito Nueva Requena – Ucayali.
- Representar a través de la distribución geoespacial las propiedades físicas y químicas de los suelos con palma aceitera por unidades fisiográficas en el sector Zanja Seca distrito Nueva Requena – Ucayali.

II. REVISION 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 PACHECO (2003) 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.

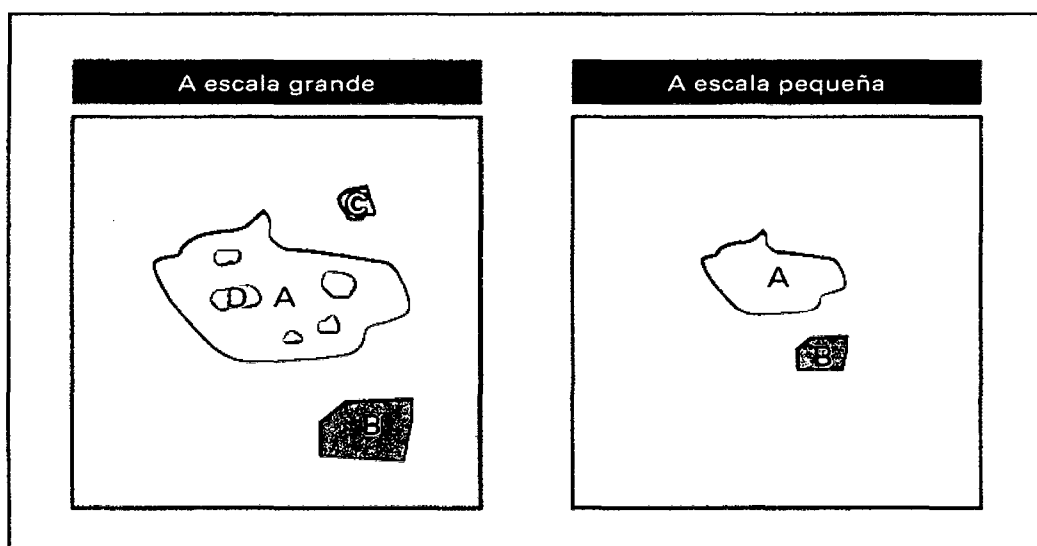
ZHU (2001b) indica que en la generación de geo-información de suelos según el método convencional, el área de un polígono suelo es asignada con los valores de la propiedad del tipo de suelo identificado y descrito sin importar que éste se refiera a un solo perfil modal para todo el polígono.

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 omisión y de atributo.

Los errores por omisión (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.



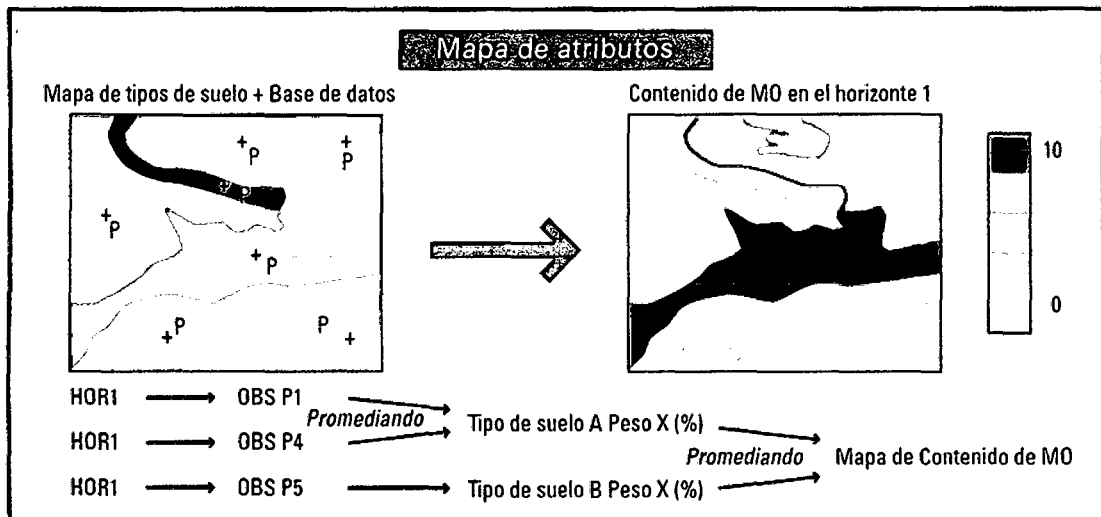
Fuente: Zhu *et al.* (1996)

Figura 1. Error por omisión 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, 1985), 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).

WILDING y DREES (1983) hacen referencia que 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. Métodos de interpolación y extrapolación

Como alternativa a los problemas generados por los métodos anteriores se ha recurrido a la interpolación. La definición de umbrales de representación, muy frecuente, sirve para la definición de isolíneas, o líneas imaginarias, en las que la variable toma un valor continuo, marcado de forma subjetiva, que suele definir los umbrales a partir de los puntos más significativos. Este hecho lejos de ser una pérdida de calidad cartográfica se ha convertido en un gran aliado a la hora de transmitir la información. Los métodos de interpolación presentan diversas características y peculiaridades. En nuestro estudio se han ensayado tres algoritmos que el programa Arcgis, en su módulo Spatial Analyst, incluye: IDW, Spline y Kriging. Estos algoritmos ya han sido ensayados para estudios de modelos digitales, climatología o relieve (ACHUY, 2006).

2.2.1. Media aritmética

Es el único método que no requiere de un conocimiento previo de la ubicación geográfica de cada dato conocido. Consiste en realizar la suma de los

valores registrados y dividirla por el número total de datos, siendo el valor hallado, una media. Se trata de un método de resolución rápida y que conlleva un grado de precisión muy relativo, el cual depende del número de datos conocidos y de la ubicación general de los mismos en la región (PACHECO, 2003).

2.2.2. Red irregular de triangulación (TIN)

El modelo TIN está formado por un conjunto de triángulos adyacentes que no se traslapan, los cuales se derivan a partir de un set de puntos con un espaciamiento irregular. Este modelo almacena la información topológica que define las relaciones entre cada uno de los triángulos y sus vecinos (Ej. Información sobre los vértices y los lados de cada triángulo). Este modelo es apropiado para representar las irregularidades del terreno y para derivar métricas del paisaje tales como: pendiente, aspecto y sombreado del terreno (FALLAS, 2003).

2.2.3. Interpolación ponderada por el inverso a la distancia (IDW)

El método de interpolación de medias móviles ponderadas por la distancia es ampliamente usado en la modelización de superficies. Se basa en la idea intuitiva de que las observaciones más cercanas deben tener más peso en la determinación del valor interpolado en un punto determinado. Se trata de un método exacto y local que estima el valor de la variable Z en un punto no muestral. Probablemente el mayor problema que presenta este método es que los valores interpolados son medias ponderadas que siempre toman valores entre el máximo y el mínimo de los puntos muestrales, lo que reduce su eficacia

para modelizar las cotas más altas o bajas de una superficie topográfica, en caso de que estas cotas no pertenezcan al conjunto de puntos muestrales.

El método de la distancia inversa (IDW) se apoya en el concepto de continuidad espacial, con valores más parecidos para posiciones cercanas que se van diferenciando conforme se incrementa la distancia. El uso de este algoritmo ha sido empleado en la representación de variables con continuidad espacial, como las medidas, los mapas de pendientes y orientaciones a partir de la altitud, o estimaciones de la población de colonias de pingüinos (AGUILAR *et al.*, 2001).

2.2.4. Método modificado de shepard

El método modificado de Shepard sigue la misma línea del IDW variando únicamente en su forma de distribuir los pesos de los datos vecinos. Para esto utiliza una función que depende, no solo de la distancia entre el punto a interpolar y los datos vecinos, sino también de la distancia del punto a interpolar y el dato más alejado (PACHECO, 2003).

2.2.5. Curvatura mínima (Spline)

Es un método de interpolación inexacto, ya que altera ligeramente el valor y la posición de los datos, generando un resultado muy suavizado (el valor resultado de la interpolación en los puntos origen sobre los que se realiza la interpolación cambia tras aplicar el proceso). El valor que predice para los lugares donde existe el dato puede verse alterado, ya que no fuerza a la superficie resultado para que se ajuste de forma exacta a la muestra. La idea de

la interpolación segmentaria o por Splines, es que en vez de usar un solo polinomio para interpolar los datos, podemos usar segmentos de polinomios y unirlos de la mejor forma posible para formar nuestro polinomio de interpolación (ACHUY, 2006).

2.2.6. Polígonos de Thiessen

Los polígonos de Thiessen es uno de los métodos de interpolación más simples, siendo especialmente apropiado cuando las variables son cualitativas. Está basado en las áreas de influencias de las estaciones, que se crean al unir las entre sí, trazando las mediatrices de los segmentos de unión. Las intersecciones de estas mediatrices determinan una serie de polígonos en un espacio bidimensional alrededor de un conjunto de puntos de control estaciones (AGUILAR *et al.*, 2002).

2.2.7. Kriging

Este método asume que la distancia y/o dirección entre puntos de muestreo, es una expresión de la correlación espacial entre los puntos y que por tanto dicha información puede utilizarse para explicar la variabilidad encontrada en la superficie muestreada. El algoritmo de los programas ajusta una función matemática a un determinado número de puntos o a aquellos que se encuentren en un radio de búsqueda. Este interpolador es más complejo que los anteriores y requiere de cierto conocimiento estadístico por parte del usuario. Kriging es un método de multipasos que incluye el análisis estadístico exploratorio del set de datos, modelamiento del variograma, interpolación de la superficie y opcionalmente el análisis de la superficie de varianza.

Este interpolador puede utilizarse prácticamente con cualquier tipo de datos ya que es muy flexible. En general, Kriging es considerado como uno de los mejores métodos de interpolación ya que provee estimaciones insesgadas y de varianza mínima. Este interpolador considera tanto la dirección como la magnitud de la correlación espacial en el set de datos (FALLAS, 2003).

La teoría de las variables regionalizadas asume que la variación espacial de una variable Z , por ejemplo la cota de un terreno, puede ser expresada como la suma de tres componentes (AGUILAR *et al.*, 2001).

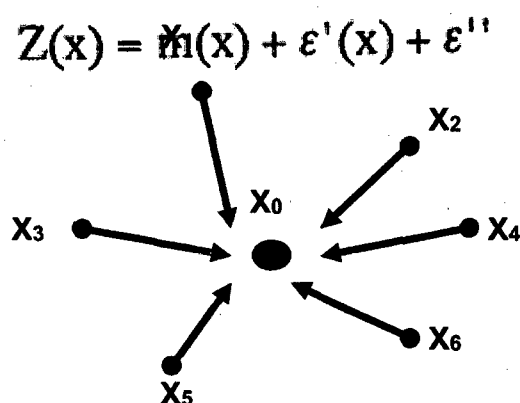


Figura 3. Método de Interpolación Kriging

Donde:

- $M(x)$ representa la componente determinística que define la tendencia general de Z , expresado con un valor medio constante o con tendencia constante. En los casos más simples, cuando no existe tendencia o deriva en los datos; $m(x)$ es igual al medio de la zona de muestreo.

- $\varepsilon'(x)$ es el término que denota los residuos de $m(x)$, denota la componente estocástica, conocida como la variación de la variable regionalizada, aleatoria espacialmente correlacionada.

- ε'' engloba el componente residual o error residual, presentando ningún tipo de correlación (ruido blanco).

El Kriging es un algoritmo basado en la geoestadística o "arte de modelizar datos espaciales. Esta técnica tiene en cuenta el comportamiento espacial de la variable a partir de la distancia y el grado de variación entre los puntos (depende de la relación espacial y estadística que hay entre los puntos de la muestra). Los valores obtenidos se consiguen por combinación lineal de los puntos origen con dato conocido. Como resultado quedan áreas mayores y más compactas alrededor a los valores máximos de la variable. Nuevamente el grado de ajuste con respecto a la distribución de la población es menor, situándose en un entorno más predictivo que real. El método del Kriging presupone una correlación espacial entre los datos de la variable, hecho que de antemano no es posible con la distribución de la población" (AGUILAR *et al.*, 2002).

Este método pertenece al grupo de los métodos geo-estadísticos ya que describe la correlación tanto espacial como temporal entre los valores de un atributo. Tradicionalmente se ha utilizado en las llamadas geociencias (geofísica, hidrogeología, etc.), sin embargo, sus principios se aplican cada vez más en una amplia variedad de campos científicos como pesquerías, silvicultura, ingeniería civil, procesamiento de imágenes, cartografía, meteorología, etc. Kriging es el

método de cálculo de una variable regional en un punto, al interior de un área usando un criterio de minimización de la estimación de la varianza. Para ello se resuelve un conjunto de ecuaciones con información presente en un gráfico denominado variograma y las distancias relativas entre los datos y la posición del punto, donde el valor interpolado es requerido (PACHECO, 2003).

Es un método de interpolación espacial utilizado para la construcción de superficies tridimensionales a partir de nubes irregulares de puntos. Kriging es un método geoestadístico sofisticado que se basa en la premisa de que la variación espacial del fenómeno representado por los valores Z , de la serie es estadísticamente homogénea a lo largo de la superficie. Su formulación matemática aplica un algoritmo de mínimos cuadrados utilizando variogramas como funciones de ponderación.

Por tanto, Kriging es apropiado para modelizar con precisión datos que tengan un comportamiento uniforme en toda la zona considerada, y es inapropiado para modelizar fenómenos que tengan rupturas importantes o grandes cambios abruptos. La Geoestadística asume que los datos están correlacionados y que la continuidad se puede establecer para puntos, bloques o volúmenes. Por lo tanto, en esta disciplina, se utiliza el concepto de variable regional que describe fenómenos con una distribución geográfica y con una cierta continuidad espacial (FALLAS, 2003).

Los planteamientos básicos del método de kriging son que el estimador sea insesgado o imparcial y que la varianza de la estimación sea mínima. Existen varios métodos de Kriging entre los cuales se mencionan: Kriging Simple, Kriging Ordinario y Kriging Universal.

- **Kriging ordinario**

Para el Kriging Ordinario la media es también constante, pero desconocida.

- **Kriging simple**

El método de Kriging simple se basa en la hipótesis de que la media de la función aleatoria (m) es conocida.

- **Kriging universal**

El Kriging Universal asume que hay una tendencia principal en los datos (por ejemplo, un viento predominante), y puede ser modelado por una función determinística, un polinomio. Este método sólo debería ser usado cuando se sabe que hay una tendencia en los datos y se puede dar una justificación científica para describirla.

2.3. Técnicas exploratorias de los datos

Las propiedades de suelo poseen una dependencia espacial que puede ser estudiada por medio de la geoestadística; sin embargo, los datos deben cumplir algunas asunciones. Las Técnicas Exploratorias de los Datos (TED) permiten examinar la estructura de los datos y proveen los medios para su transformación, de manera de cumplir con las asunciones de la geoestadística.

El análisis geoestadístico es útil para el estudio de variabilidad del suelo (PÉREZ, 2000). Las técnicas geoestadísticas permiten modelar la estructura espacial de propiedades de suelo (variografía) y estimar dichas propiedades en sitios no muestreados mediante la interpelación de vecinos (kriging). Un estimado de kriging es un promedio ponderado de los valores observados de una propiedad Z dentro de una, región dada (FELICISIMO, 1994).

2.4. Palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jaq)

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, además de los productos arriba mencionados, también los aceites vegetales están siendo transformados en muchos otros productos para uso técnico como: biocarburantes y aceites biológicas naturales.

DURAN *et al.* (1999) hacen referencia que la palma requiere suelos con pH entre 4.5 hasta 7.8, y crece a altitudes que van desde 3 hasta 700

m.s.n.m.; por otra parte RAYGADA (2005) indica que la palma de aceite incrementa la extracción de nutrimentos después del primer año de trasplante y los más requeridos son: K>N>S>Ca>Mg>P>Fe>Mn>Zn>Cu>B.

2.5. Propiedades físicas del suelo

2.5.1. 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 (ZVALETA, 1992).

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

2.5.2. 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: (ZVALETA, 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.

2.6. 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).

2.6.1. Reacción del suelo

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

2.6.2. 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).

2.6.3. 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 esta 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

2.6.4. Factores que afectan el pH

2.6.4.1. Relación suelo/agua

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

2.6.4.2. Concentraciones de CO₂

La actividad biológica de las raíces y de los microorganismos incrementa la concentración de CO₂ en el aire del suelo formando el ácido carbónico al reaccionar con el agua (GUERRERO, 2000).

2.6.4.3. 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 (FASSBENDER, 1987 y GUERRERO, 2000).

2.7. 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 (GUZMAN, 2008).

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 (TARMIZI, 2006).

2.7.1. 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 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)

2.8. 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).

2.8.1. 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 en 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).

2.8.2. 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)

2.8.3. 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 (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)

2.9. 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, 1999).

2.9.1. El fósforo en el suelo

El fósforo, luego del nitrógeno, es el macronutriente 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)

2.9.2. 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 metabólicas 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)

2.9.3. El nitrógeno en el suelo

La mayor parte del nitrógeno presente en los suelos minerales se encuentra por tanto formando parte de la materia orgánica que en el suelo se deposita a la muerte de los microorganismos y de las plantas que ellos se benefician. En esta forma el nitrógeno no es aprovechable por la planta. El nitrógeno varía más en cantidad en el suelo que otros elementos esenciales para el desarrollo vegetal, también absorbidos en el suelo (NAVARRO, 2003).

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

Cuadro 8. Niveles de contenido de nitrógeno.

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

Fuente: SOIL SURVEY STAFF (1993)

2.10. 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, tecnicando 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).

2.10.1. 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).

2.10.2. 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.

2.10.3. Unidades de mapeo

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

2.10.4. 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.

2.10.5. 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).

2.10.6. 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).

2.11. 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 (ROSSITER, 2005).

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 (VILCHEZ, 2000).

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 (ROSSITER, 2005). 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, 1991).

La variabilidad espacial de las propiedades físicas del suelo dentro de los campos agrícolas es inherente a la naturaleza geológica de la formación

de suelo, pero en algunos casos la variabilidad puede ser inducida por la labranza y otras prácticas de manejo. Estos factores interactúan unos con otros a través de escalas espaciales y temporales, y se modificarán una vez más a nivel local por los procesos de erosión y deposición (IQBAL *et al.*, 2005).

2.12. 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.

MENDIETA (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.

ARAB (2001) 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.

DURAN *et al.* Y DONOUGH (2008) 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.

LAREZ (2003) evaluó 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

La investigación ha tenido lugar en los predios con cultivo de palma aceitera que pertenecen a PLANTACIONES DE UCAYALI S.A.C., ubicada en la margen izquierda del río Aguaytia sector zanja seca, políticamente pertenece al departamento Ucayali, provincia Coronel Portillo e Irazola y el distrito Nueva Requena - Curimana; geográficamente el área se ubica en las siguientes coordenadas UTM 497450 Este y 9079293 Norte y una altitud de 163 m.s.n.m.

3.1.2. Fisiografía

Presenta una fisiografía variada con áreas desde una colina baja de ligera a moderadamente disectada, una lomada, terraza baja inundable y una terraza baja no inundable.

3.1.3. Clima

Predomina el clima cálido y húmedo con abundantes precipitaciones, con una temperatura máxima de 32.5 °C y mínima de 19.30 °C,

los meses con mayor precipitación se encuentran de noviembre a marzo. La humedad relativa es de 89% y su variación está de acuerdo a las lluvias.

3.1.4. Ecología

De acuerdo a la clasificación de zonas de vida o formaciones vegetales del mundo y el diagrama bioclimático de HOLDRIGE (1987), la zona de estudio se encuentra dentro de la zona ecológica: Bosque Húmedo – Premontano Subtropical (bh. PST).

3.1.5. Hidrología

El río Aguaytia es un río navegable y uno de sus tributarios es la quebrada Zanja Seca que es afluente del río negro.

3.1.6. Accesibilidad

La accesibilidad a la zona de estudio, es vía terrestre por la carretera Federico Basadre, de Tingo María – Campo Verde Von Humbolt con un aproximado de 317 km, de ahí se entra por la margen izquierda a través de una carretera afirmada de Campo Verde a Nueva Requena con 20 km de carretera afirmada y de Nuevo Requena hasta zanja seca es de un aproximado de 1.5 horas, vía fluvial surcando el río Aguaytia.

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

En la primera fase se realizó el reconocimiento del área donde se ejecutó la investigación previa coordinación con el jefe de plantación, previa coordinación con la gerencia de PLANTACIONES UCAYALI S.A.C., asimismo, se recopiló información cartográfica física y digital disponible así como mapas de identificación del lugar.

3.3.1.2. Determinación de número de muestras

En el mapa base de la zona se identificó el área de estudio por unidades fisiográficas y a partir de ello se calculó el número de muestras por unidades fisiográficas de la zona.

3.3.1.3. Muestreo de suelos y registro de datos

El muestreo de los suelos se realizó mediante el método de zig-zag, por unidades fisiográficas el cual consistió en dibujar líneas transversales imaginarios en el área a muestrear y se recolectó la muestra hasta completar la

cantidad necesaria de suelo de un kilogramo aproximado. Las mismas que fueron georreferenciadas por medio de un sistema de posicionamiento global (GPS), y fueron enviados al gabinete de suelos de la facultad de Recursos Naturales Renovables.

3.3.1.4. Anotaciones diversas

En especial relevancia los factores que se tuvo en cuenta además del análisis del suelo fue la fecha de instalación de la palma aceitera, edad del cultivo y la fecha de fertilización por unidades fisiográficas.

3.3.2. Fase de laboratorio

3.3.2.1. Análisis físico químico del suelo

Se realizó en el gabinete de suelos de la Facultad de Recursos Naturales Renovables y los datos de algún análisis adicional fueron enviados al laboratorio de suelos de la Facultad de Agronomía para determinar las propiedades físicas y químicas de acuerdo a los métodos establecidos.

Cuadro 9. Indicadores de suelos y métodos de determinación

Indicadores	Metodología de determinación
Textura del suelo	Método del hidrómetro de Bouyoucos
Materia orgánica	Método de Walkley y Black
Reacción del suelo (pH)	Método del potenciómetro relación suelo agua 1:1
Nitrógeno total	% M.O. x 0.045
Fósforo disponible	Método de Olsen Modificado. Extracto NaHCO ₃ 0.5 M, pH 8.5
Potasio disponible	Método del ácido sulfúrico 6N
Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	Método de acetato de amonio 1N. pH: 7.0 (suelos con pH > 5.5).
Calcio (Ca)	Absorción atómica
Magnesio (Mg)	Absorción atómica
Potasio (K)	Absorción atómica
Sodio (Na)	Absorción atómica
(CICe).	Desplazamiento con KCl 1 N (suelos con pH < 5.5)
Aluminio más hidrógeno	Método de Yuan
Calcio más magnesio	Método de E.D.T.A (versenato)

Fuente: 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) y con la proyección del Datum WGS 84. A partir de los resultados de los parámetros físicos y químicos de suelo obtenidos en el laboratorio, se llevó al sistema GIS y se identificaron en el

software con sus respectivas coordenadas, ubicándolas espacialmente en toda el área de estudio; para la manipulación de datos y el proceso de interpolación se utilizó el interpolador Kriging del spatial analysis tools, que permite generar superficies a partir de aproximaciones geo estadísticas, con la finalidad de determinar áreas de tipo raster, que posteriormente se convirtió en polígonos de formato shp, la escala de trabajo fue de 1/1,750.

Se elaboraron los mapas de distribución a partir de los datos que se obtuvieron de los análisis de laboratorio y mediante la interpolación de la herramienta kringin que es una técnica cuantitativa que muestra mayor exactitud, basada en la geoestadística, permiten estudiar estas características de los suelos y mapear el comportamiento de sus propiedades.

Se tuvo en cuenta el valor de las variables altitud en metros sobre el nivel del mar y pendiente en porcentaje para elaborar el mapa fisiográfico a nivel detallado mediante el sistema de información geográfica. En el cual se observó las características individuales por cada unidad fisiográfica encontrada.

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

3.3.3. Variables e indicadores

3.3.3.1. Variable independiente (X)

Independiente: Fisiografía y tipos de suelo del sector Zanja Seca.

Indicadores de las variables independientes: Unidades fisiográficas y parámetros físicos y químicos de los suelos.

3.3.3.2. Variable dependiente (Y)

Dependiente: Los mapas temáticos del sector Zanja Seca

Indicadores de las variables dependientes: Mapas de suelo a partir de características físicas y químicas.

3.3.4. Fase de gabinete

Debido a que los datos fueron obtenidos de la observación de fenómenos no controlados (MONTGOMERY, 2011) y para determinar grado de relación entre las variables evaluadas, se realizó el análisis de regresión y correlación simple, basado en los siguientes modelos matemáticos (CALZADA, 1996).

Ecuación de regresión

$$Y_i = a + bX_i + \varepsilon_i$$

Coefficiente de correlación

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

IV. RESULTADOS

4.1. Distribución del cultivo de palma por unidades fisiográficas

El Cuadro 10 muestra que las mayores áreas instaladas del cultivo de palma aceitera se encuentran en las unidades fisiográficas loma (L) y terraza baja inundable (TBI) 4.82 ha y 6.20 ha respectivamente, y que una menor área instalada por este cultivo se encuentran en la unidad fisiográfica colina baja moderadamente disectada, así como las unidades colina baja ligeramente disectada con 1.41 ha y terraza baja no inundable con 2.74 ha.

Cuadro 10. Distribución de áreas según unidades fisiográficas de la parcela con cultivo de palma aceitera

N	Descripción	Fisiografía	Área (Has)
1	CBLD	Colina baja ligeramente disectada	1.41
2	CBMD	Colina baja moderadamente disectada	0.86
3	L	Loma	4.82
4	TBI	Terraza baja inundable	6.20
5	TBNI	Terraza baja no inundable	2.74
Total			16.03

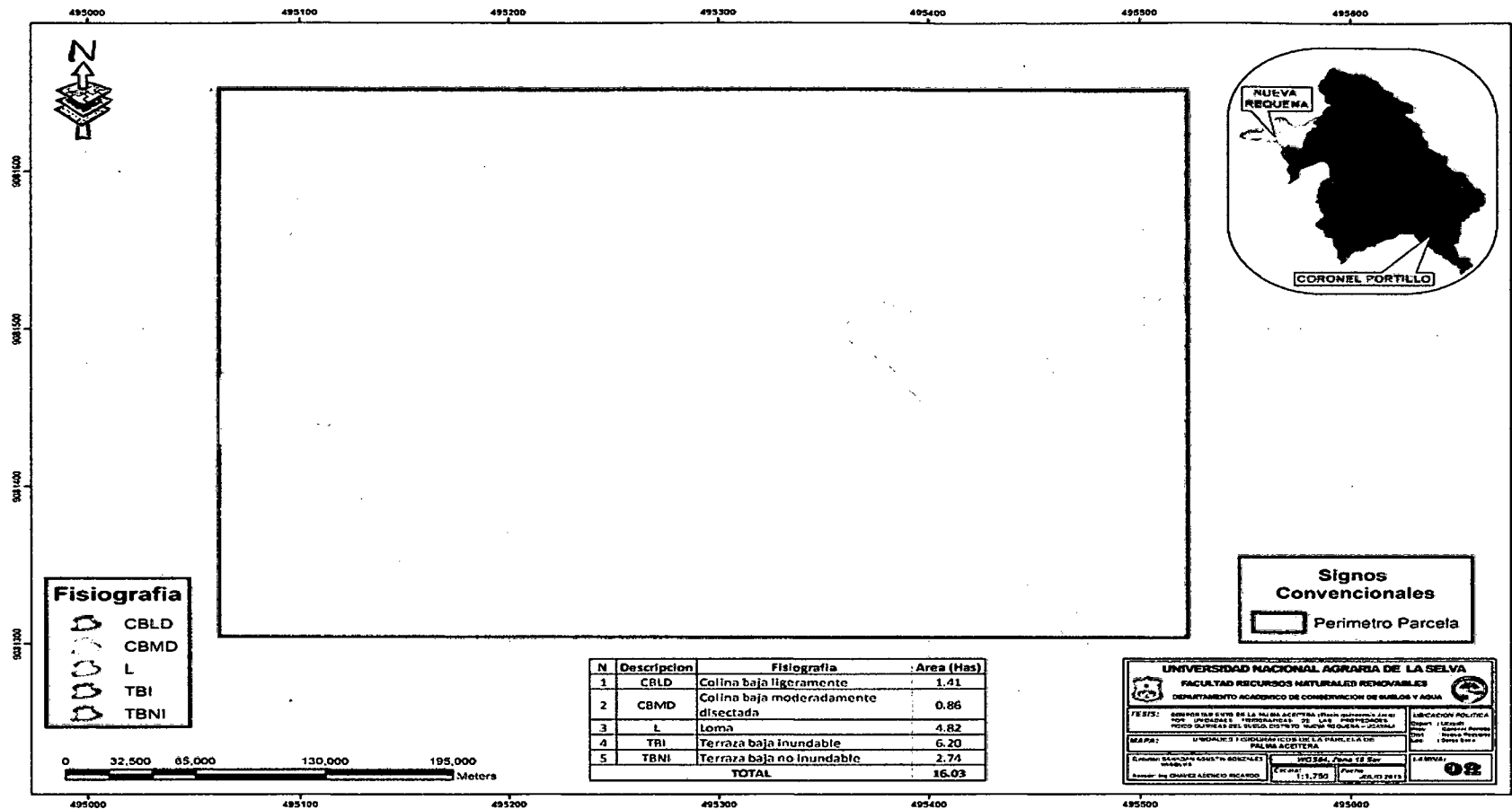


Figura 5. Distribución espacial por unidades fisiográficas de la parcela con cultivo de palma

4.2. Interpretación de las propiedades físicas y químicas en suelos con cultivo de palma aceitera por unidad fisiográfica

4.2.1. Materia orgánica

En la Figura 6 se observa los contenidos de materia orgánica por unidades fisiográficas, donde la colina baja ligera a moderadamente disectada, lomada y terraza baja no inundable, presentan un contenido medio en materia orgánica, mientras que la terraza baja inundable su contenido de materia orgánica es bajo o pobre con 1.83%.

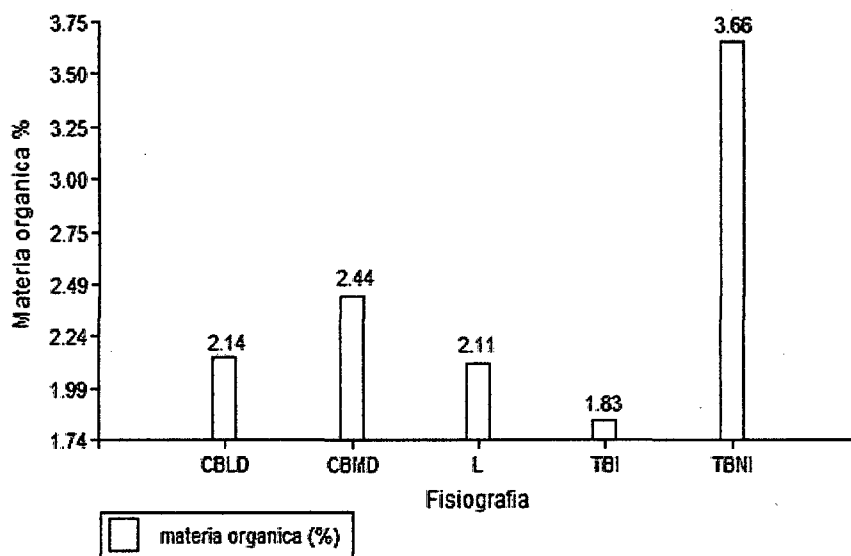


Figura 6. Contenido de materia por unidad fisiográfica

4.2.2. pH

La Figura 7 muestran los valores de pH por unidades fisiográficas, donde todas se encuentran con niveles extremadamente ácidos y los rangos de que fluctúan, desde 3.73 a 4.18 de pH.

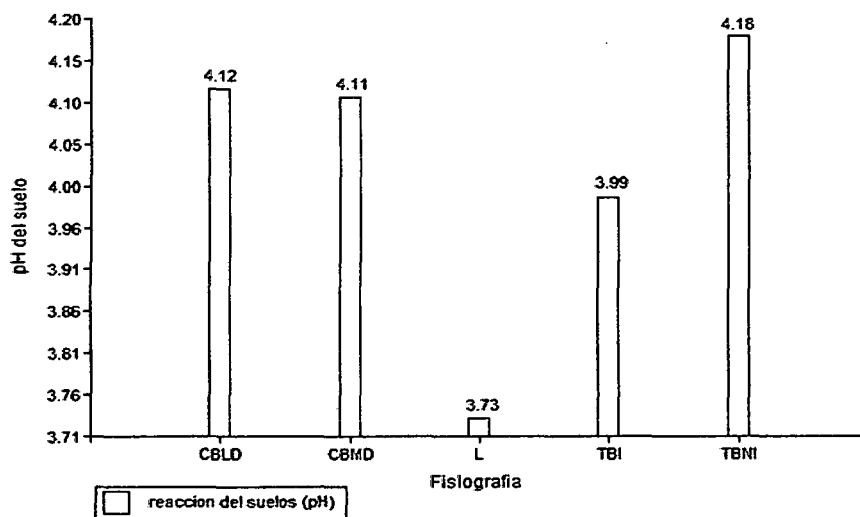


Figura 7. pH de suelos por unidad fisiográfica

4.2.3. Fósforo disponible

La Figura 8 muestran el fósforo disponible (ppm) por unidades fisiográficas, la colina baja moderadamente disectada presenta nivel bajo con 7.12 ppm; mientras que las terrazas baja inundable y no inundable, lomada y colina baja ligeramente disectada presentan niveles muy bajo con rangos de (3.96 ppm a 5.05 ppm).

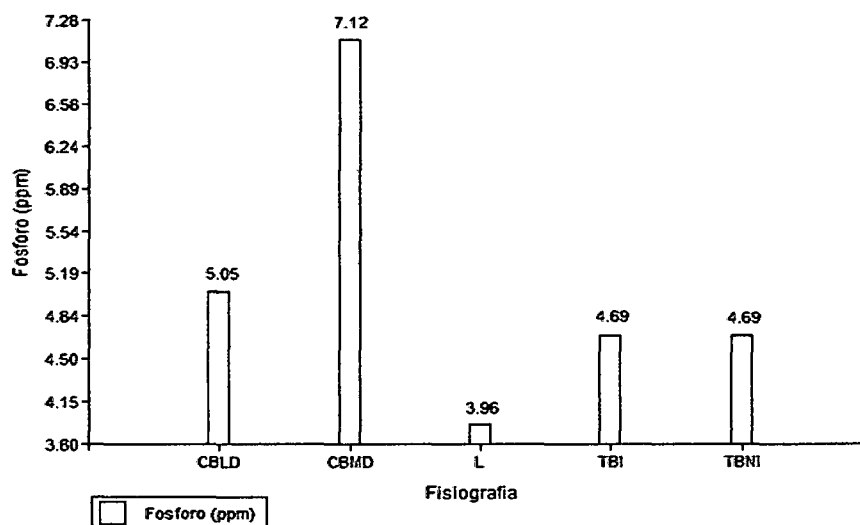


Figura 8. Fósforo disponible de los suelos por unidades fisiográficas

4.2.4. Potasio disponible

La Figura 9 muestran los niveles de potasio disponible (K_2O) en el suelo por unidades fisiográficas, donde todas las unidades presentan niveles muy bajo con rangos que oscilan desde 55.24 ppm ha hasta los 60.74 ppm.

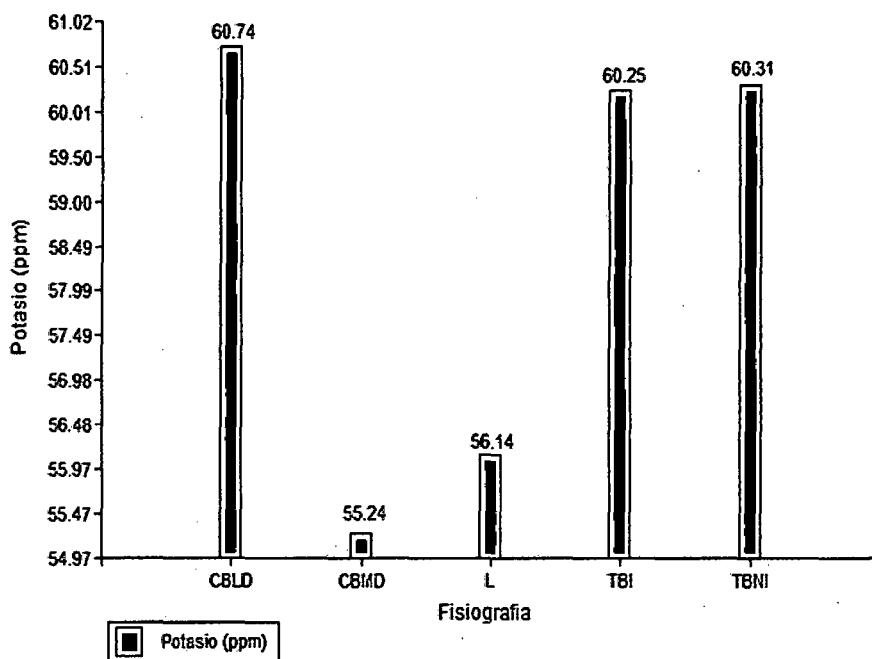


Figura 9. Potasio disponible de los suelos por unidades fisiográficas

4.2.5. Nitrógeno total

En la Figura 10 se muestran el contenido de nitrógeno total (%) en los suelos por unidades fisiográficas donde la colina baja ligeramente disectada, lomada, colina baja moderadamente disectada y terraza baja no inundada presentan niveles medios de nitrógeno, con rangos que van desde 0.10% a 0.16% y bajo en nitrógeno en la terraza baja inundada con 0.08%.

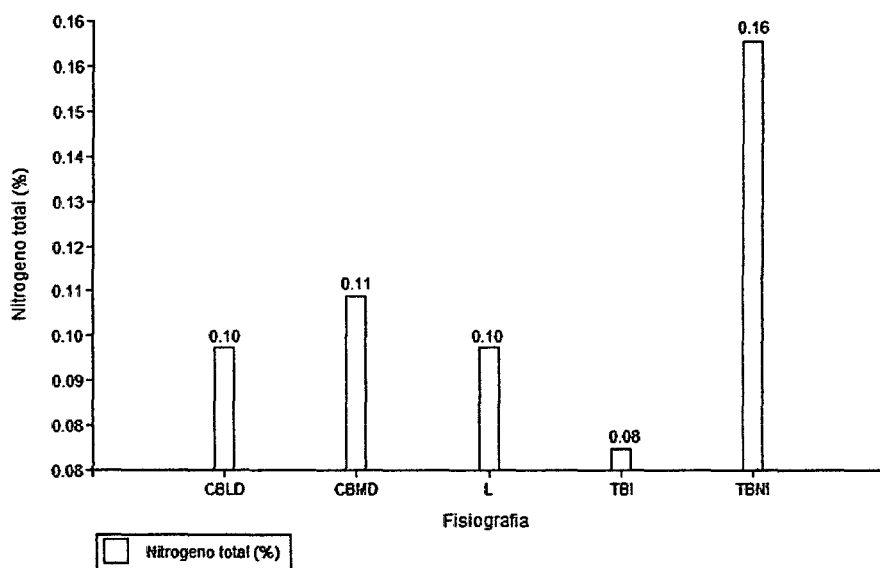


Figura 10. Nitrógeno total de los suelos por unidades fisiográficas

4.2.6. Capacidad de intercambio catiónico efectiva

La Figura 11 muestran la capacidad de intercambio catiónico de estos suelos por unidades fisiográficas, donde todas las unidades fisiográficas presentan niveles bajos de CIC_e , es decir que el potencial de nutrientes disponibles es bajo.

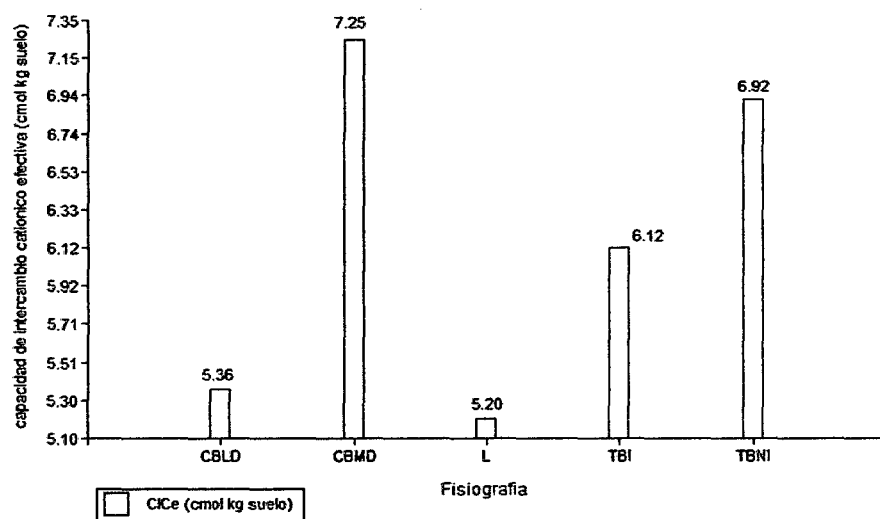


Figura 11. CIC_e de los suelos por unidades fisiográficas

4.2.7. Bases cambiables

La Figura 12 muestran las bases cambiables en estos suelos por unidades fisiográficas, encontrándose en niveles bajos comprendidos desde 37.52% en la colina baja moderadamente disectada hasta los 60.16% en la terraza baja no inundable.

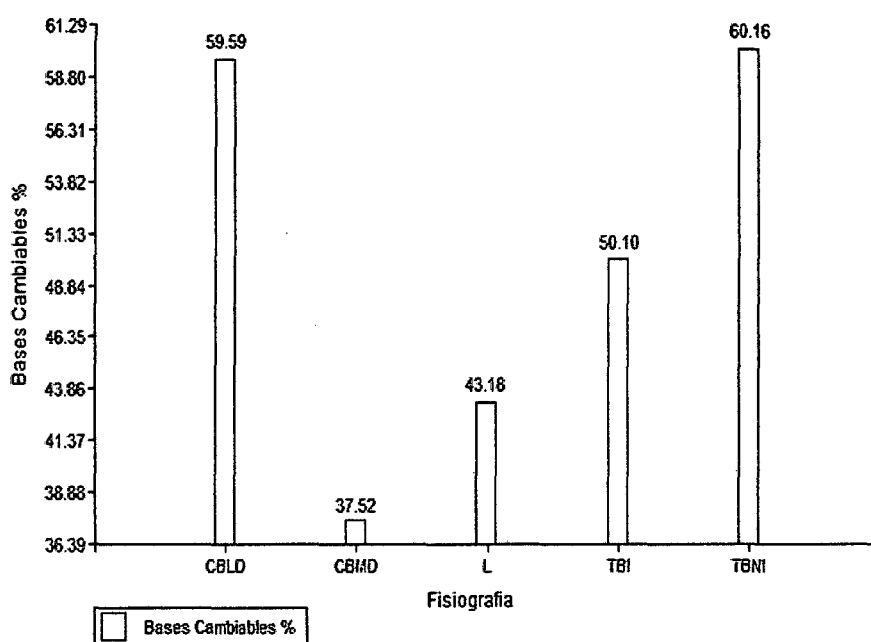


Figura 12. Bases cambiables de los suelos por unidades fisiográficas

4.2.8. Acidez cambiabile

La Figura 13 presenta la acidez cambiabile en estos suelos por unidades fisiográficas con contenidos medios donde la colina baja moderadamente disectada fue superior a las demás unidades con (62.48%), seguido de la lomada con (52.82%), y contenido bajo con (40.41%) colina baja ligeramente disectadas, (49.90%) terraza baja inundable y (39.84%) terraza baja no inundable.

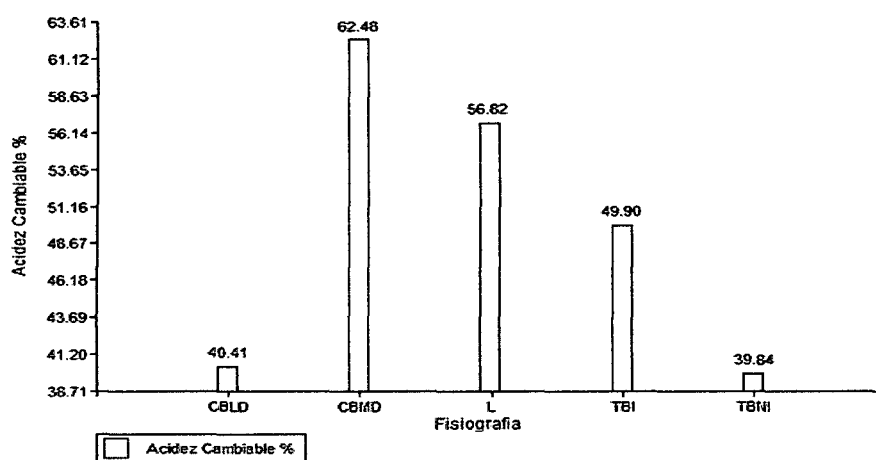


Figura 13. Acidez cambiabile de los suelos por unidades fisiográficas

4.2.9. Calcio

La Figura 14 muestran los suelos por unidades fisiográficas de terraza baja inundable presento un mayor contenido de calcio con 3.73 Cmol/kg de suelo, mientras que la lomada fue inferior a las demás unidades con 1.96 Cmol/kg de suelo, el resto de las unidades presentaron rangos de 2.40 a 2.84 Cmol/kg de suelo con contenido de calcio.

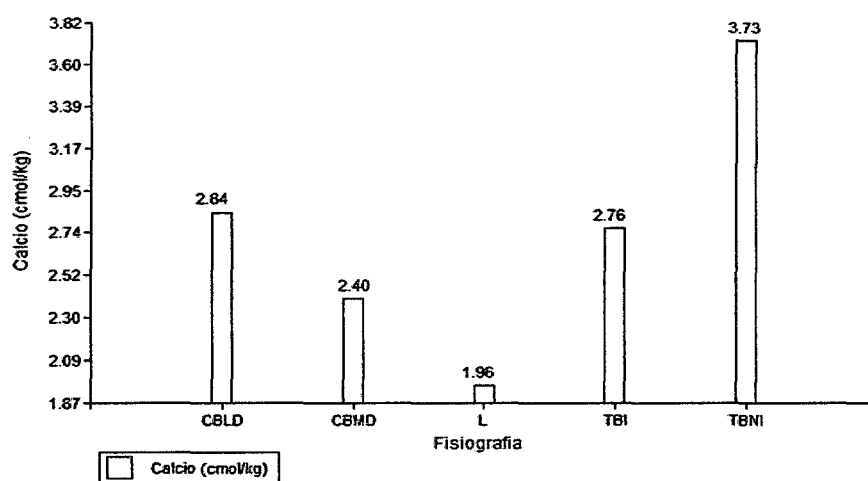


Figura 14. Contenido de calcio en los suelos por unidades fisiográficas

4.2.10. Magnesio

La Figura 15 muestran el contenido de magnesio en Cmol/kg de suelo por unidades fisiográficas donde la colina baja ligera y moderadamente disectada, lomada y la terraza baja inundable presentan rangos desde los 0.29 Cmol/kg hasta los 0.35 Cmol/kg de suelo, y la terraza baja no inundable fue superior con 0.43 Cmol/kg de suelo con contenido de magnesio.

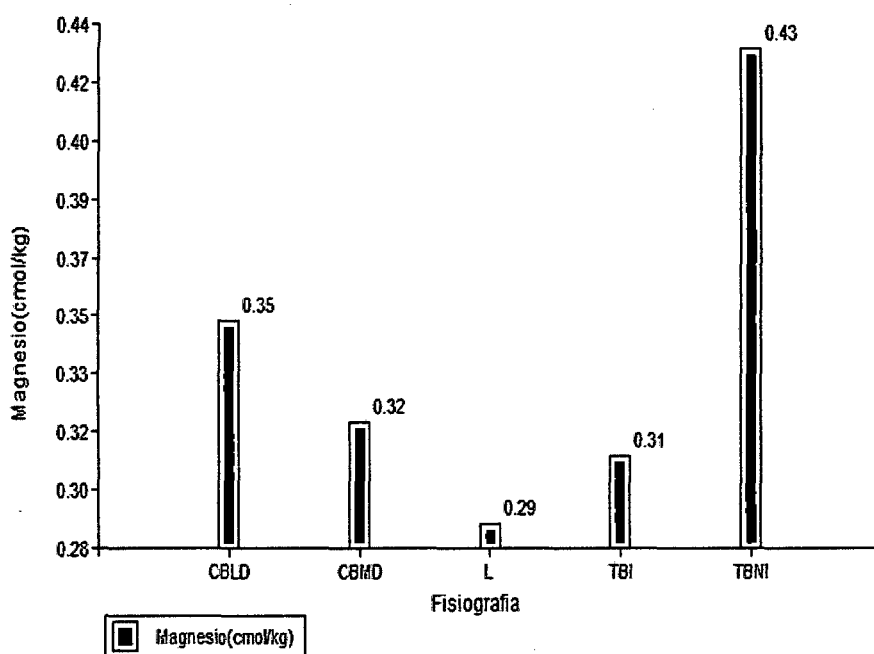


Figura 15. Contenido de magnesio en los suelos por unidades fisiográficas

4.2.11. Aluminio

La Figura 16 nos muestran el contenido de aluminio en Cmol/kg de suelo por unidad fisiográfica donde la colina baja moderadamente disectada fue superior con 3.68 Cmol/kg de suelo, mientras el valor más bajo la obtuvo la colina baja ligeramente disectada con 1.59 Cmol/kg de suelo.

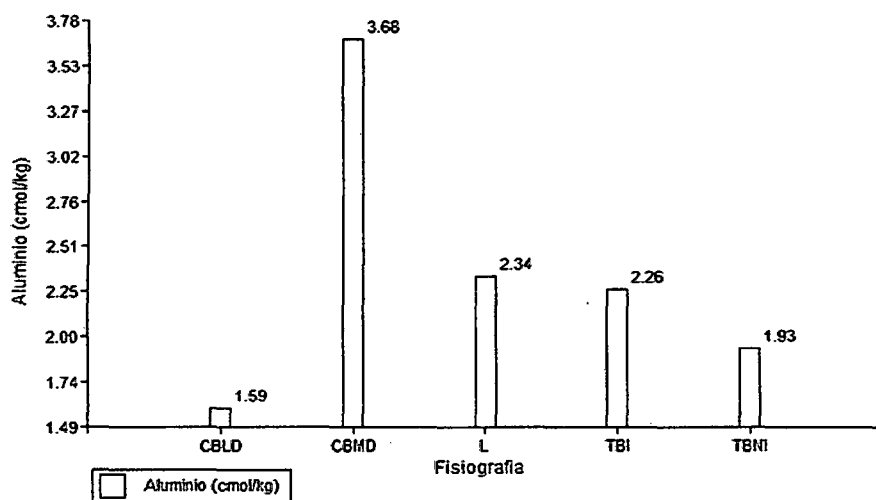


Figura 16. Contenido de aluminio en los suelos por unidades fisiográficas

4.2.12. Hidrógeno

La Figura 17 nos muestran el contenido de hidrogeno en Cmol/kg de suelo las unidades fisiográficas donde la colina baja ligeramente disectada y lomada presento un bajo contenido con 0.58 y 0.61 Cmol/kg de suelo respectivamente, y la colina baja moderadamente disectada presento un rango de 0.85 Cmol/kg de suelo.

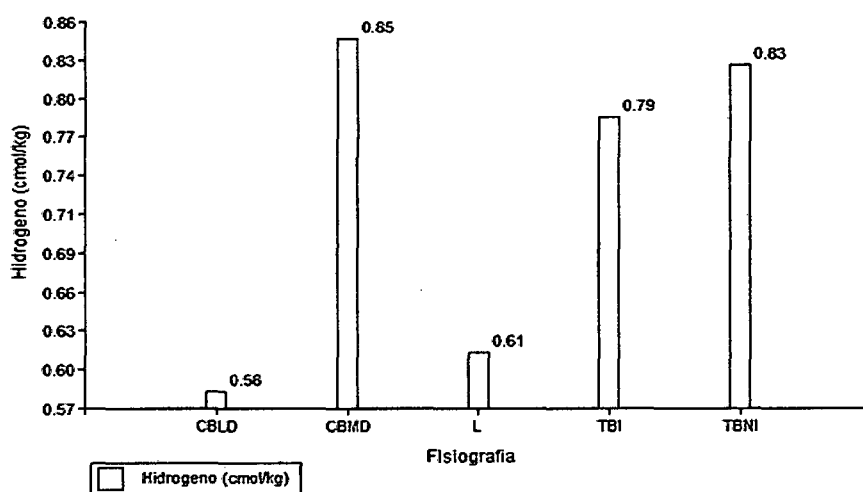


Figura 17. Contenido de hidrógeno en los suelos por unidades fisiográficas

4.2.13. Textura

Los la mayoría de los suelos son de textura franco arcillo arenoso que abarcan las unidades fisiograficas de colina baja moderadamente disectada, lomada y terraza baja inundable, seguido colina baja ligeramente disectada con textura franco arenoso y por ultimo terraza baja inundable con suelos francos , como muestra el Cuadro 11.

Cuadro 11. Análisis físico químico de los suelos de la parcela con cultivo de palma aceitera

Cód. Lab	Muestras	Arena%	Arcilla%	Limo%	Textura	Ph	M.O (%)	N (%)	P(ppm)	K(ppm)
CBLD										
	1	53.68	19.04	27.3	Franco arenoso	4.12	2.14	0.1	5.05	60.74
CBMD										
	2	47.68	27.04	25.3	franco arcillo arenoso	4.12	2.44	0.11	7.12	55.24
L										
	3	49.68	31.04	19.3	franco arcillo arenoso	3.73	2.11	0.1	3.96	56.14
TBI										
	4	49.68	29.04	21.3	franco arcillo arenoso	3.99	1.83	0.08	4.69	60.25
TBNI										
	5	43.68	25.04	31.3	franco	4.18	3.66	0.16	4.69	60.31
Cód. Lab	Muestras	Ca(cmol/kg)	Mg(cmol/kg)	Al(cmol/kg)	H(cmol/kg)	ClCe	Bas. Camb (%)	Ac. Camb (%)	Sal. Al (%)	
CBLD										
	1	2.84	0.35	1.59	0.58	5.36	59.59	40.41	29.67	
CBMD										
	2	2.4	0.32	3.68	0.85	7.25	37.52	62.48	50.8	
L										
	3	1.96	0.29	2.34	0.61	5.2	43.18	56.82	45.07	
TBI										
	4	2.76	0.31	2.26	0.79	6.12	50.1	49.9	36.94	
TBNI										
	5	3.73	0.43	1.93	0.83	6.92	60.16	39.84	27.82	

Laboratorio de suelos de agronomía universidad nacional agraria de la selva

4.3. Distribución espacial de las propiedades físicas y químicas de los suelos del cultivo de palma aceitera.

4.3.1. Distribución espacial del contenido de arena

El Cuadro 12 muestra que el área con 4.53 ha presentan mayor contenido de arena con 48.68 a 49.68 que abarca el 28.26% del área total de los suelos de la parcela, así mismo áreas menores que van desde los 0.53 ha hasta los 0.89 ha contienen rangos de arena desde los 43.68% hasta los 47.68%.

Cuadro 12. Distribución porcentual de áreas con rangos de arena en suelos con cultivo de palma aceitera.

Rangos	Área (km ²)	Área (ha)	Porcentaje (%)
43.68 - 44.68	0.005	0.53	3.34%
44.68 - 45.68	0.007	0.72	4.50%
45.68 - 46.68	0.007	0.75	4.66%
46.68 - 47.68	0.009	0.89	5.56%
47.68 - 48.68	0.022	2.22	13.82%
48.68 - 49.68	0.045	4.53	28.26%
49.68 - 50.68	0.024	2.39	14.91%
50.68 - 51.68	0.013	1.26	7.89%
51.68 - 52.68	0.016	1.63	10.18%
52.68 - 53.68	0.011	1.10	6.89%
Total	0.160	16.025	100%

Fuente elaboración propia

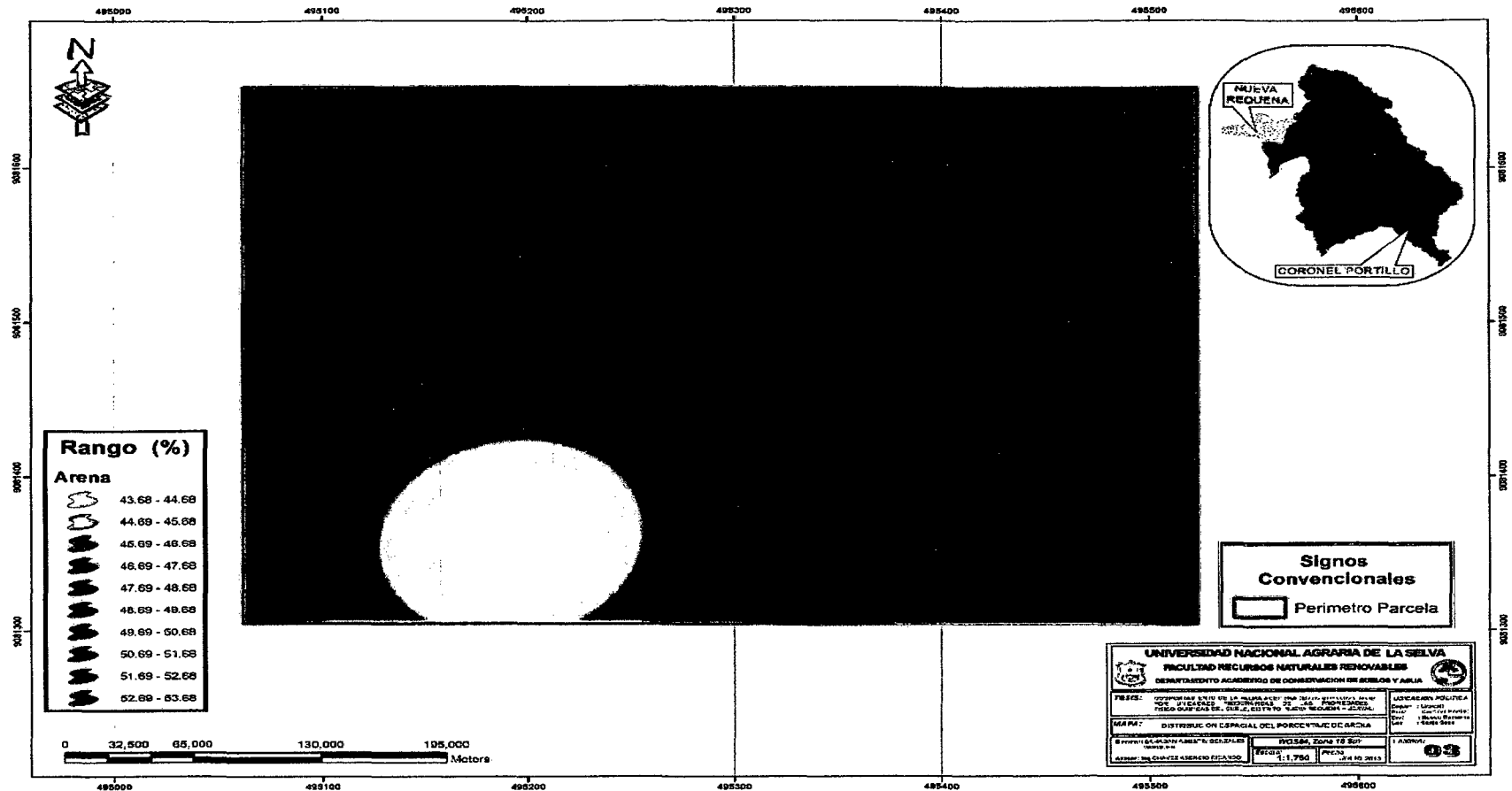


Figura 18. Mapa de la distribución espacial de arena en suelos con cultivo de palma aceitera

4.3.2. Distribución espacial del contenido de limo

El Cuadro 13 se observa que la mayor concentración de limo se presentan con rangos de 20.08 a 26.48 con áreas de 2.41 a 2.61, el menor área lo presenta la parcela con 0.67 ha con rangos de 29.68 a 31.28 y un porcentaje de (4.20%) del área total con contenido de limo.

Cuadro 13. Distribución porcentual de áreas con rangos de limo en suelos con cultivo de palma aceitera

Rangos	Área (km ²)	Área (ha)	Porcentaje (%)
15.28 - 16.88	0.007	0.74	4.59%
16.88 - 18.48	0.012	1.20	7.49%
18.48 - 20.08	0.014	1.42	8.87%
20.08 - 21.68	0.025	2.45	15.30%
21.68 - 23.28	0.026	2.61	16.27%
23.28 - 24.88	0.024	2.41	15.01%
24.88 - 26.48	0.024	2.42	15.13%
26.48 - 28.08	0.012	1.23	7.67%
28.08 - 29.68	0.009	0.88	5.46%
29.68 - 31.28	0.007	0.67	4.20%
Total	0.160	16.025	100%

Fuente elaboración propia

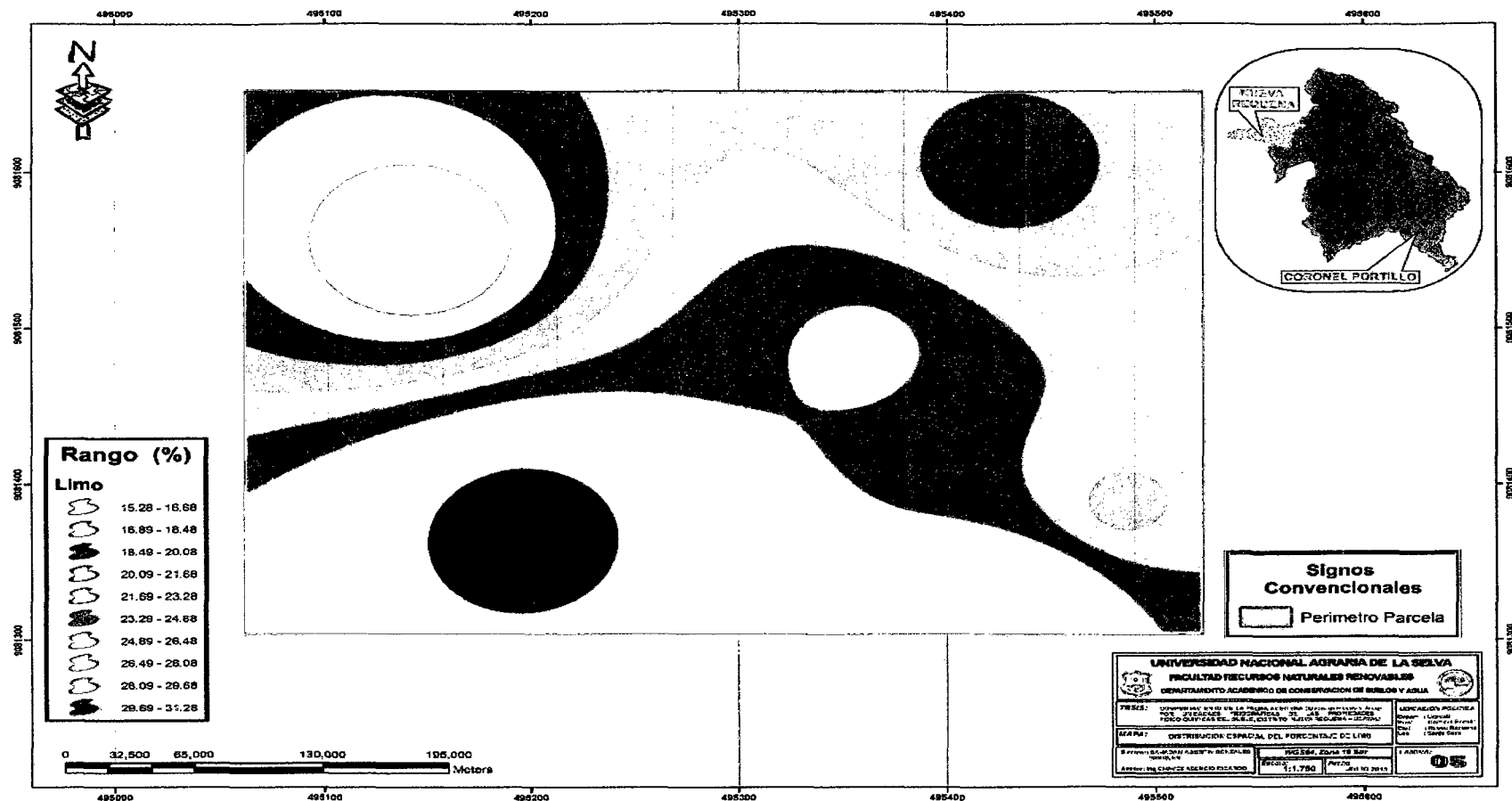


Figura 19. Mapa de la distribución espacial de limo con el cultivo de palma aceitera.

4.3.3. Distribución espacial del contenido de arcilla

Los rangos de porcentaje de arcilla en la parcela del suelo por unidades fisiográficas fue heterogéneo, el mayor porcentaje está comprendida entre 28.64% – 29.84% abarcó un área de 19.50%, seguido del 25.04% al 28.64% de del área total (Cuadro 14 y Figura 20).

Cuadro 14. Distribución porcentual de áreas con rangos de arcilla en suelos con cultivo de palma aceitera.

Rangos	Área (km ²)	Área (ha)	Porcentaje (%)
19.04 - 20.24	0.002	0.18	1.10%
20.24 - 21.44	0.002	0.16	1.01%
21.44 - 22.64	0.002	0.20	1.25%
22.64 - 23.84	0.003	0.29	1.83%
23.84 - 25.04	0.005	0.52	3.27%
25.04 - 26.24	0.030	2.98	18.58%
26.24 - 27.44	0.030	3.01	18.78%
27.44 - 28.64	0.029	2.89	18.04%
28.64 - 29.84	0.031	3.13	19.50%
29.84 - 31.04	0.027	2.67	16.64%
Total	0.160	16.025	100%

Fuente elaboración propia

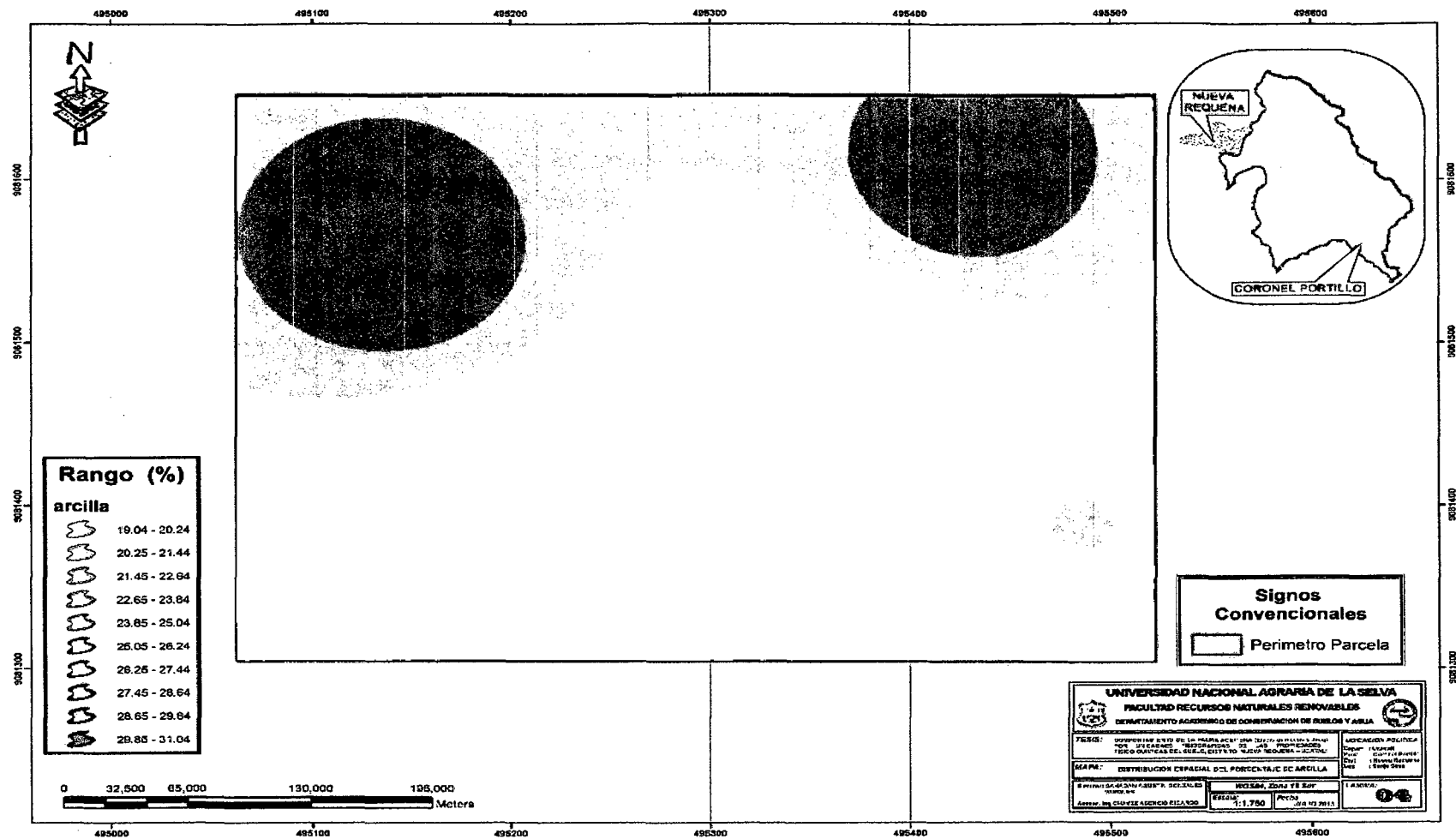


Figura 20. Mapa de la distribución espacial de arcilla con cultivo de palma aceitera

4.3.4. Distribución del contenido de materia orgánica

El contenido de materia orgánica se encuentra en el rango de medio en mayor proporción en un área de 5.20 ha que equivalen a un 32.48% del área total, mientras que la menor concentración se encontró en un área de 0.45 ha con un porcentaje de 3.08% (Cuadro 15 y Figura 21).

Cuadro 15. Distribución porcentual de áreas con rangos de materia orgánica en suelos con cultivo de palma aceitera.

Rangos	Área (km ²)	Área (ha)	Porcentaje (%)
1.83 - 2.01	0.007	0.73	4.57%
2.01 - 2.2	0.032	3.18	19.84%
2.2 - 2.38	0.052	5.20	32.48%
2.38 - 2.56	0.026	2.56	15.98%
2.56 - 2.74	0.009	0.90	5.63%
2.74 - 2.93	0.007	0.71	4.42%
2.93 - 3.11	0.009	0.85	5.33%
3.11 - 3.29	0.007	0.72	4.47%
3.29 - 3.48	0.007	0.68	4.22%
3.48 - 3.66	0.005	0.49	3.08%
Total	0.160	16.025	100%

Fuente elaboración propia

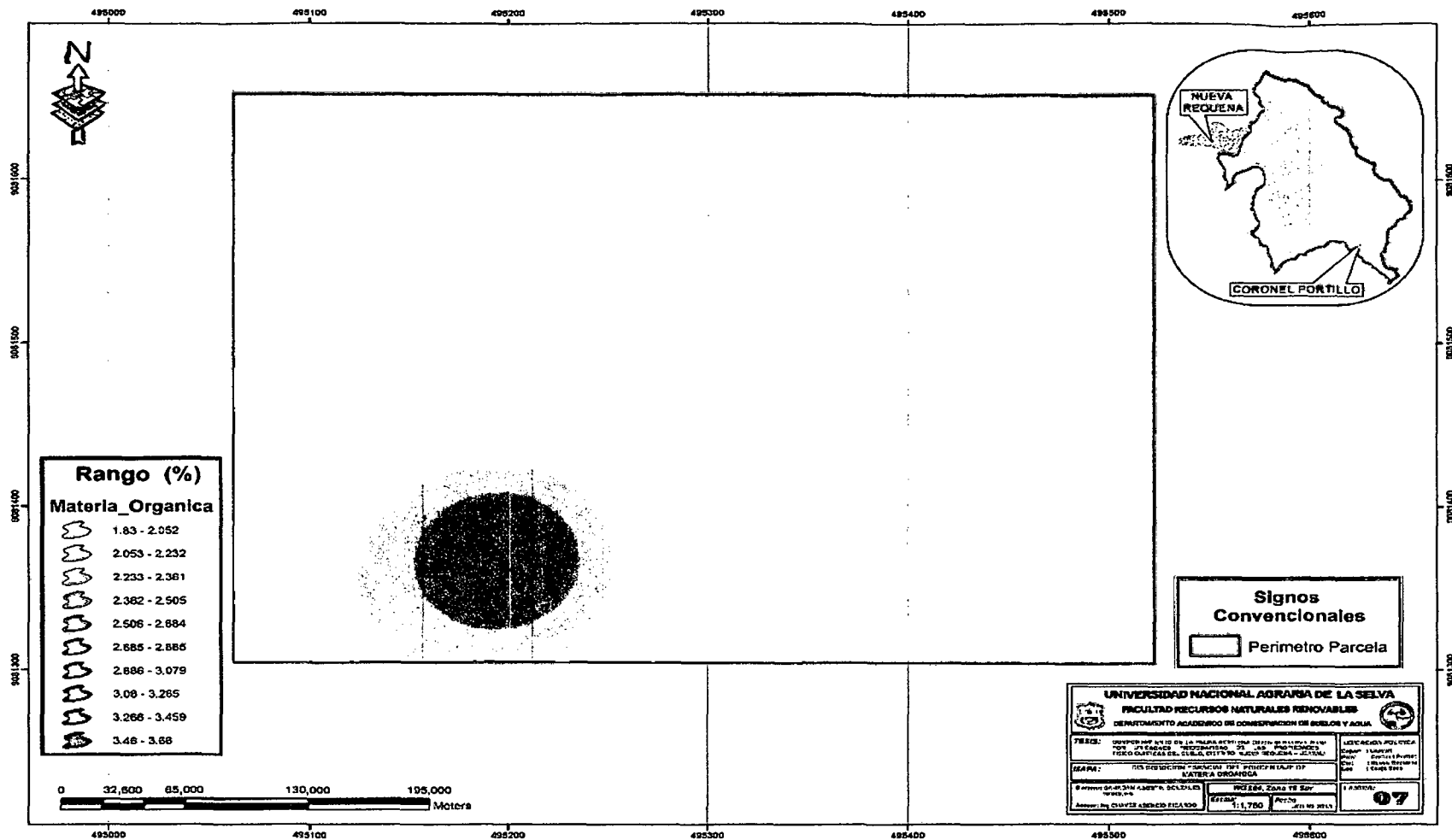


Figura 21. Mapa de distribución espacial de materia orgánica con cultivo de palma aceitera

4.3.5. Distribución de la reacción del suelo

Se encontró menor concentración de pH en la parte media y alta en la margen derecha de la parcela con un rango de extremadamente acida, con un 8.77% del área total, mientras que los valores más altos se encontró en la margen izquierda alta 3.69% seguido de rangos de fuerte a moderadamente ácido con valores que va desde 4.65 a 5.58 como se muestra en el (Cuadro 16 y Figura 22).

Cuadro 16. Distribución porcentual de áreas con rangos de pH en suelos con cultivo de palma aceitera.

Rangos	Área (km ²)	Área (ha)	Porcentaje (%)
3.73 - 3.92	0.014	1.41	8.77%
3.92 - 4.1	0.034	3.40	21.23%
4.1 - 4.29	0.050	5.05	31.49%
4.29 - 4.47	0.017	1.68	10.47%
4.47 - 4.65	0.009	0.87	5.42%
4.65 - 4.84	0.006	0.65	4.04%
4.84 - 5.02	0.006	0.59	3.71%
5.02 - 5.21	0.009	0.94	5.84%
5.21 - 5.39	0.009	0.86	5.35%
5.39 - 5.58	0.006	0.59	3.69%
Total	0.160	16.025	100%

Fuente elaboración propia

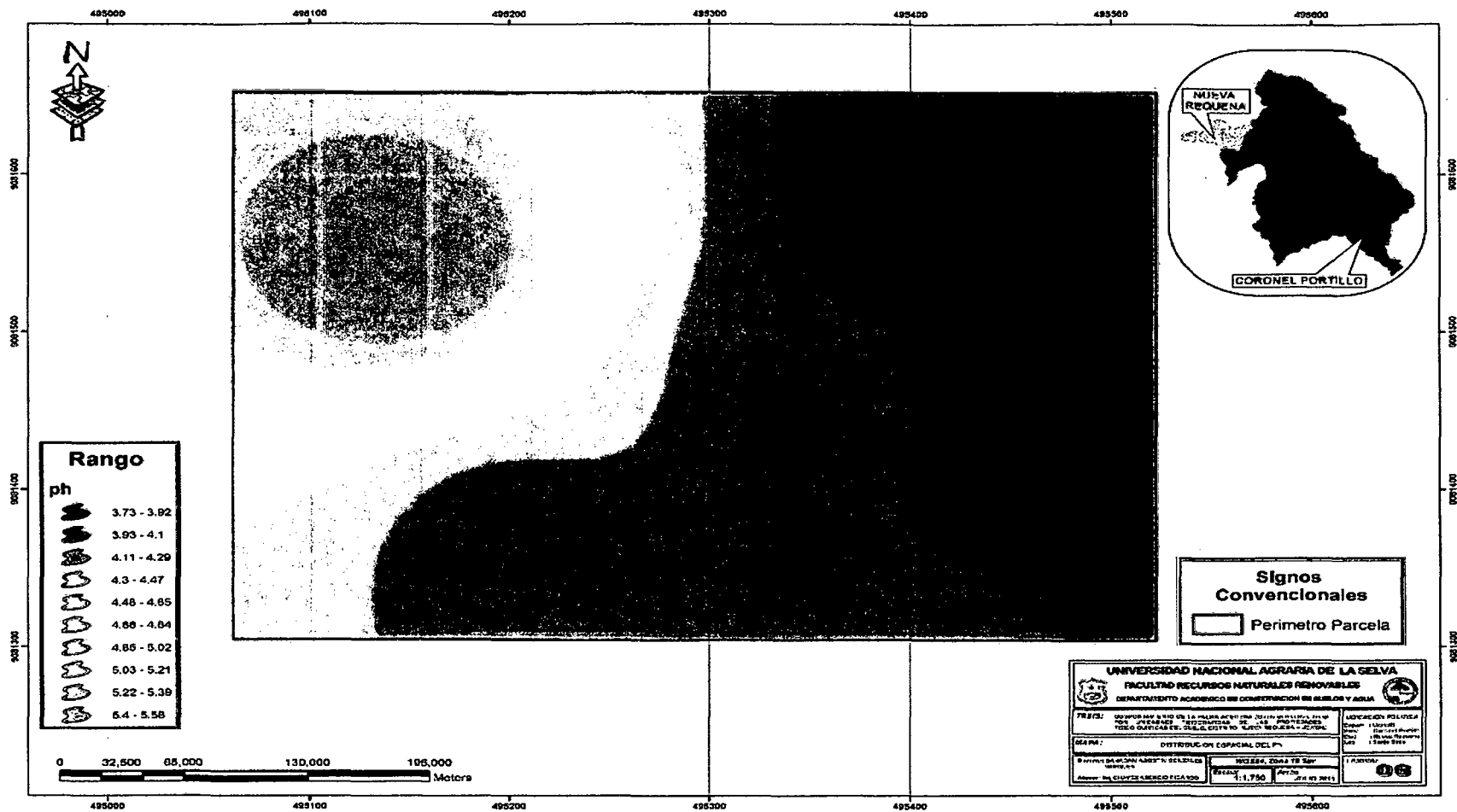


Figura 22. Mapa de distribución espacial de pH con cultivo de palma aceitera

4.3.6. Distribución del contenido de nitrógeno

En la parte alta izquierda hacia la parte baja derecha de la parcela se encontró los niveles bajo a medio con mayor contenido de nitrógeno del 32.40% del área total de la parcela en un área de 5.19 ha, cuyos valores de nitrógeno se encuentran en los rangos de 0.104 - 0.112 (Cuadro 17 y Figura 23).

Cuadro 17. Distribución porcentual de áreas con rangos de nitrógeno en suelos con cultivo de palma aceitera.

Rangos	Área (km ²)	Área (ha)	Porcentaje (%)
0.08 - 0.088	0.006	0.55	3.44%
0.088 - 0.096	0.008	0.80	5.02%
0.096 - 0.104	0.046	4.58	28.56%
0.104 - 0.112	0.052	5.19	32.40%
0.112 - 0.12	0.012	1.19	7.43%
0.12 - 0.128	0.008	0.79	4.90%
0.128 - 0.136	0.009	0.88	5.50%
0.136 - 0.144	0.008	0.78	4.88%
0.144 - 0.152	0.007	0.73	4.56%
0.152 - 0.16	0.005	0.53	3.32%
Total	0.160	16.025	100%

Fuente elaboración propia

4.3.7. Distribución del contenido de fósforo

La concentración de fósforo se encuentran entre los niveles de muy bajo a bajo donde mayor concentración de se encontró en la parte media de la parcela, la menor concentración se encontró en la parte de los extremos de la parcela. (Cuadro 18 y Figura 24).

Cuadro 18. Distribución porcentual de áreas con rangos de fósforo en suelos con cultivo de palma aceitera.

Rangos	Área (km ²)	Área (ha)	Porcentaje (%)
3.96 - 4.28	0.021	2.13	13.30%
4.28 - 4.59	0.023	2.33	14.57%
4.59 - 4.91	0.048	4.75	29.67%
4.91 - 5.22	0.034	3.40	21.24%
5.22 - 5.54	0.013	1.27	7.91%
5.54 - 5.86	0.007	0.73	4.58%
5.86 - 6.17	0.005	0.50	3.15%
6.17 - 6.49	0.004	0.37	2.33%
6.49 - 6.8	0.003	0.29	1.81%
6.8 - 7.12	0.002	0.23	1.45%
Total	0.160	16.025	100%

Fuente elaboración propia

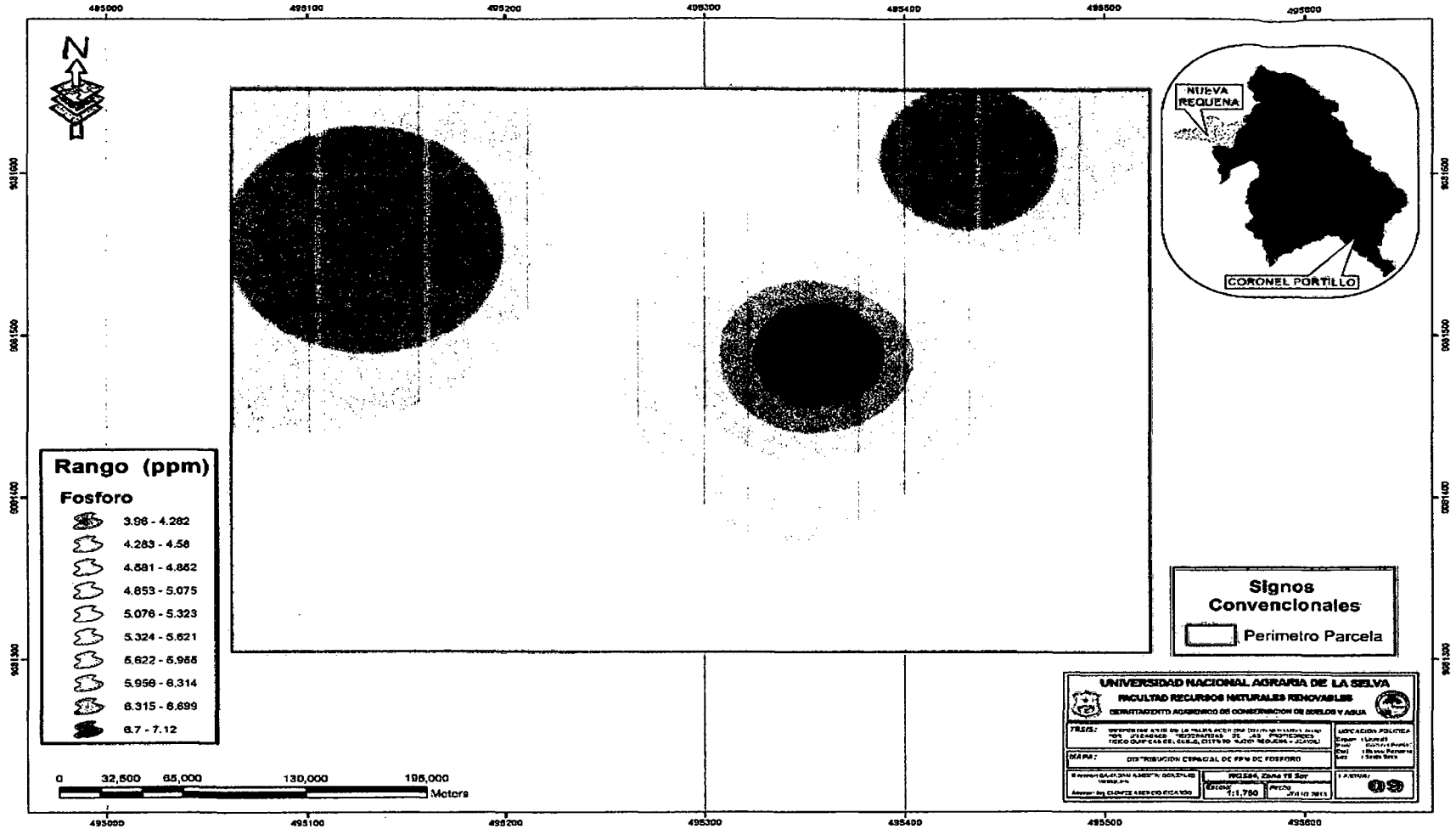


Figura 24. Mapa de distribución espacial de fósforo con cultivo de palma aceitera

4.3.8. Distribución del contenido de potasio

Los niveles de potasio son muy bajos en todas las unidades fisiográficas de estos niveles la mayor distribución de concentración se encuentra entre la parte alta al margen derecho, concentraciones intermedias hubo en la parte baja de la parcela, mientras que los menores valores se encontró en la parte alta al margen izquierdo de la parcela. De todas estas concentraciones la máxima área de la parcela registra el (29.08%) del total del área que representan 4.66 ha (Cuadro 19 y Figura 25).

Cuadro 19. Distribución porcentual de áreas con rangos de potasio en suelos con cultivo de palma aceitera.

Rangos	Área (km ²)	Área (ha)	Porcentaje (%)
55.24 - 56.76	0.017	1.72	10.74%
56.76 - 58.27	0.025	2.53	15.79%
58.27 - 59.79	0.022	2.15	13.45%
59.79 - 61.31	0.047	4.66	29.08%
61.31 - 62.82	0.012	1.21	7.53%
62.82 - 64.34	0.007	0.70	4.40%
64.34 - 65.86	0.006	0.61	3.80%
65.86 - 67.38	0.009	0.92	5.76%
67.38 - 68.89	0.009	0.90	5.64%
68.89 - 70.41	0.006	0.61	3.81%
Total	0.160	16.025	100%

Fuente elaboración propia

4.3.9. Distribución de la CIC efectiva

Todas las unidades fisiograficas se encuentran en un nivel medio, de estos la concentración alta de CICe se ha encontrado en la margen derecha ocupando 11.70% del área total con los rangos entre 7.07 - 7.28, con un área de 1.88 ha, mientras que la contratación más baja se presenta en la parte alta y baja del margen derecho con un 3.14% del área total (Cuadro 20 y Figura 26).

Cuadro 20. Distribución porcentual de áreas con rangos de CIC_e en suelos con cultivo de palma aceitera

Rangos	Área (km ²)	Área (ha)	Porcentaje (%)
5.2 - 5.41	0.005	0.50	3.14%
5.41 - 5.62	0.009	0.86	5.35%
5.62 - 5.82	0.009	0.92	5.74%
5.82 - 6.03	0.010	0.98	6.10%
6.03 - 6.24	0.017	1.74	10.87%
6.24 - 6.45	0.009	0.94	5.89%
6.45 - 6.66	0.011	1.15	7.15%
6.66 - 6.86	0.035	3.48	21.73%
6.86 - 7.07	0.036	3.58	22.32%
7.07 - 7.28	0.019	1.88	11.70%
Total	0.160	16.025	100%

Fuente elaboración propia



Figura 26. Mapa de distribución espacial de la CIC_e con cultivo de palma aceitera

4.3.10. Distribución de bases cambiables

Se encontró menor concentración de bases cambiables en la parte media y alta en la margen derecha de la parcela en un área de 1.10 ha con un 6.87% del área total, mientras que los valores más altos se encontró en la margen izquierda alta en un área de 3.17 ha con un 19.76% del área total con rangos que va desde 56.26 – 62.51 como se muestra en el (Cuadro 21 y Figura 27).

Cuadro 21. Distribución porcentual de áreas con rangos de bases cambiables en suelos con cultivo de palma aceitera.

rangos	Área (km ²)	Área (ha)	Porcentaje (%)
37.52 - 43.77	0.011	1.10	6.87%
43.77 - 50.02	0.036	3.62	22.60%
50.02 - 56.26	0.029	2.94	18.37%
56.26 - 62.51	0.032	3.17	19.76%
62.51 - 68.76	0.014	1.39	8.68%
68.76 - 75.01	0.007	0.73	4.58%
75.01 - 81.26	0.006	0.62	3.87%
81.26 - 87.5	0.009	0.93	5.79%
87.5 - 93.75	0.009	0.91	5.67%
93.75 - 100	0.006	0.61	3.83%
Total	0.160	16.025	100%

Fuente elaboración propia

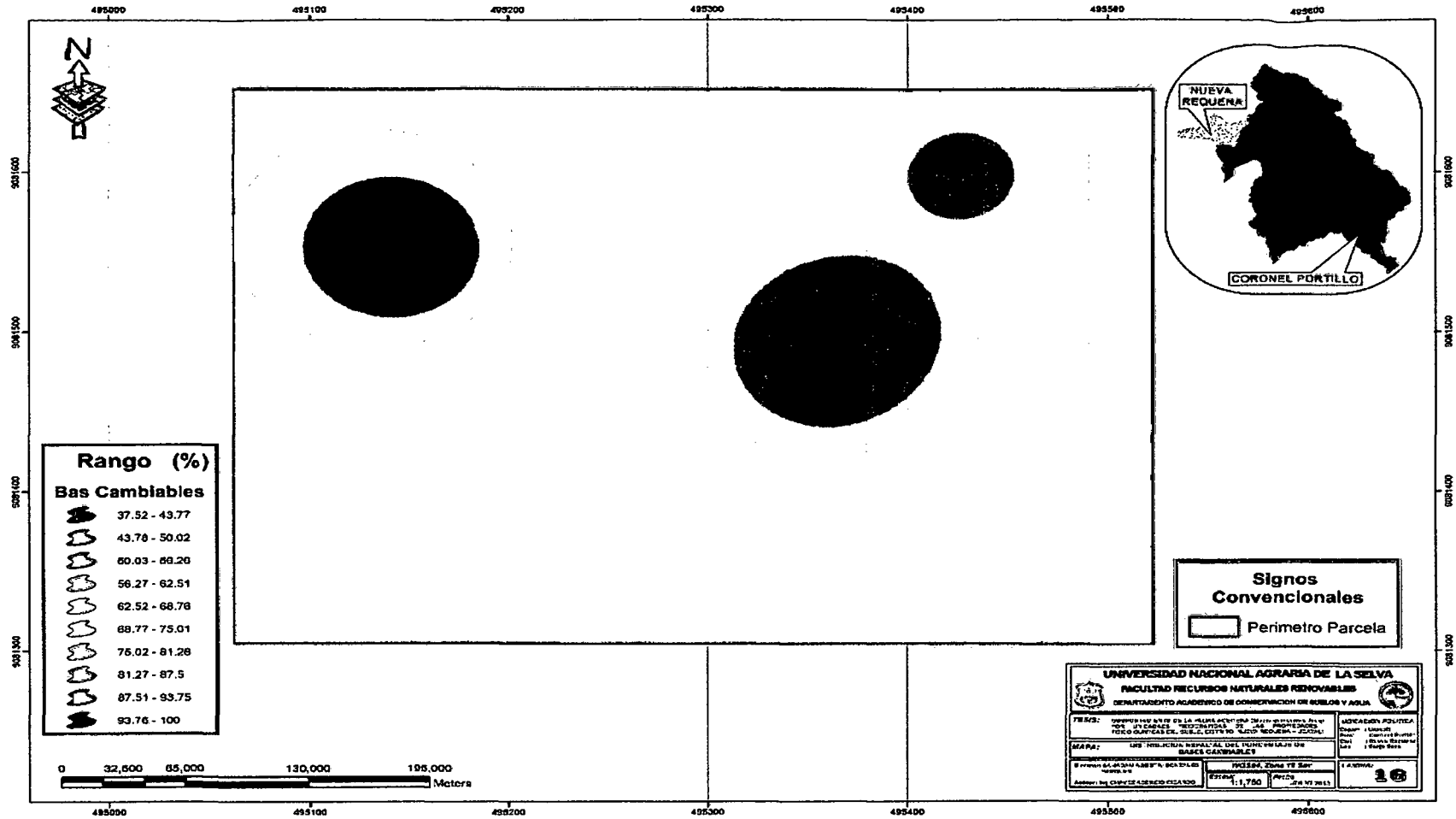


Figura 27. Mapa de distribución espacial de bases cambiables con cultivo de palma aceitera

4.3.11. Distribución de calcio

Se registró mayor contenido de este elemento en la parte alta al margen izquierdo en un área de 3.40 ha, que representa el 21.20% del total del área la parcela, tanto en la margen derecha alta la concentración fue menor; la concentración intermedia se encontró en la parte media de la parcela (Cuadro 22 y Figura 28).

Cuadro 22. Distribución porcentual de áreas con rangos de calcio en suelos con cultivo de palma aceitera.

Rangos	Área (km ²)	Área (ha)	Porcentaje (%)
1.96 - 2.35	0.015	1.49	9.27%
2.35 - 2.74	0.030	3.01	18.76%
2.74 - 3.13	0.034	3.40	21.20%
3.13 - 3.52	0.012	1.24	7.76%
3.52 - 3.91	0.027	2.66	16.61%
3.91 - 4.31	0.010	0.99	6.15%
4.31 - 4.7	0.007	0.69	4.31%
4.7 - 5.09	0.009	0.94	5.85%
5.09 - 5.48	0.010	0.97	6.03%
5.48 - 5.87	0.006	0.65	4.05%
Total	0.160	16.025	100%

Fuente elaboración propia

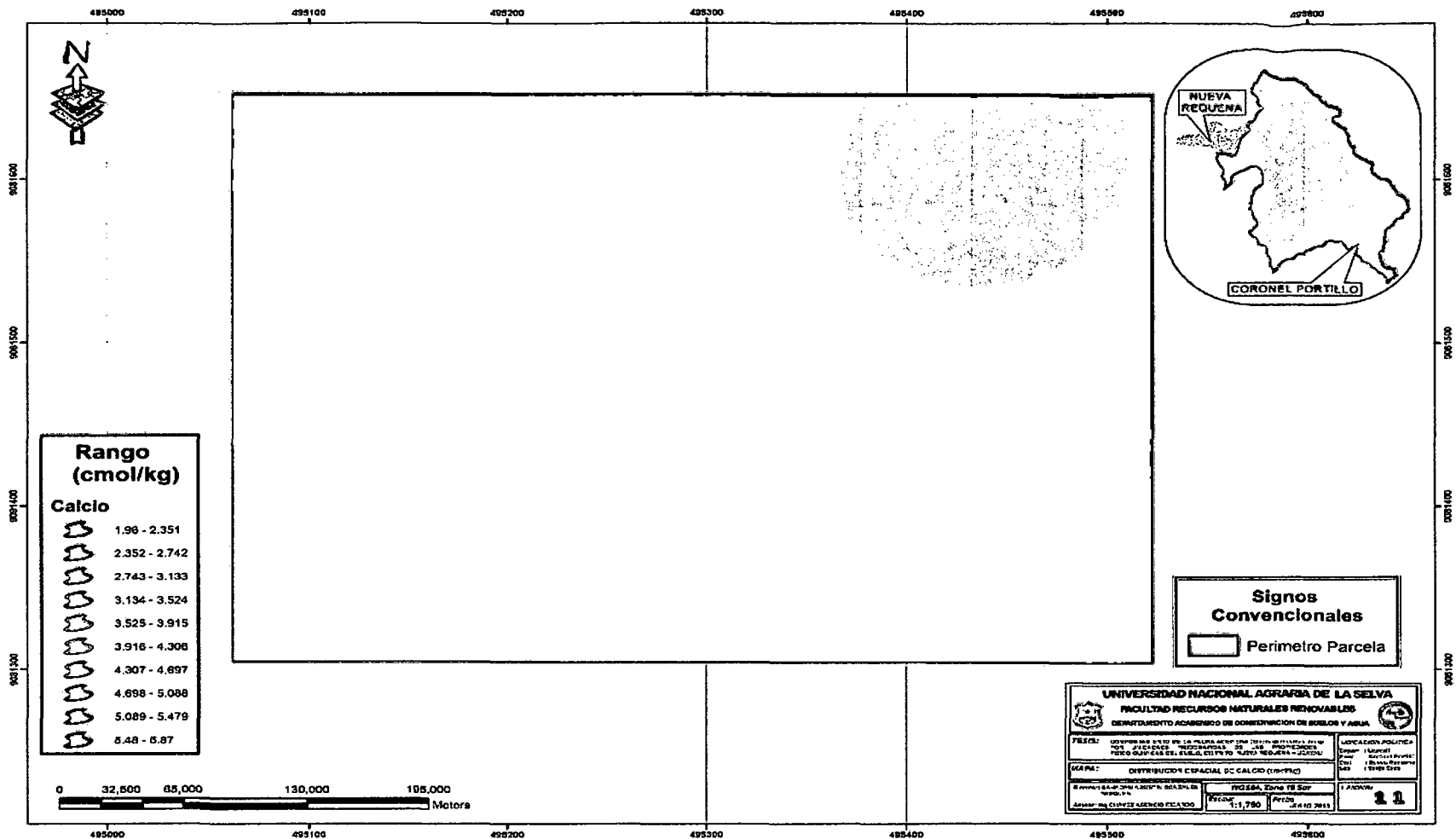


Figura 28. Mapa de distribución espacial de calcio con cultivo de palma aceitera

4.3.12. Distribución de magnesio

La mayor concentración de este elemento se presentó en la parte alta izquierda derecha de la parcela con un 3.58% del total de área y la concentración menor y con una mayor área en la parte derecha de la parcela en un área de 4.48, presentando 27.93% del área total con rangos que va desde 0.29 - 0.33 (Cuadro 23 y Figura 29).

Cuadro 23. Distribución porcentual de áreas con rangos de magnesio en suelos con cultivo de palma aceitera.

Rangos	Área (km ²)	Área (ha)	Porcentaje (%)
0.29 - 0.33	0.045	4.48	27.93%
0.33 - 0.38	0.029	2.95	18.40%
0.38 - 0.42	0.015	1.46	9.14%
0.42 - 0.46	0.026	2.58	16.09%
0.46 - 0.51	0.010	0.96	6.01%
0.51 - 0.55	0.007	0.66	4.09%
0.55 - 0.59	0.006	0.61	3.80%
0.59 - 0.63	0.009	0.93	5.82%
0.63 - 0.68	0.008	0.82	5.14%
0.68 - 0.72	0.006	0.57	3.58%
Total	0.160	16.025	100%

Fuente elaboración propia

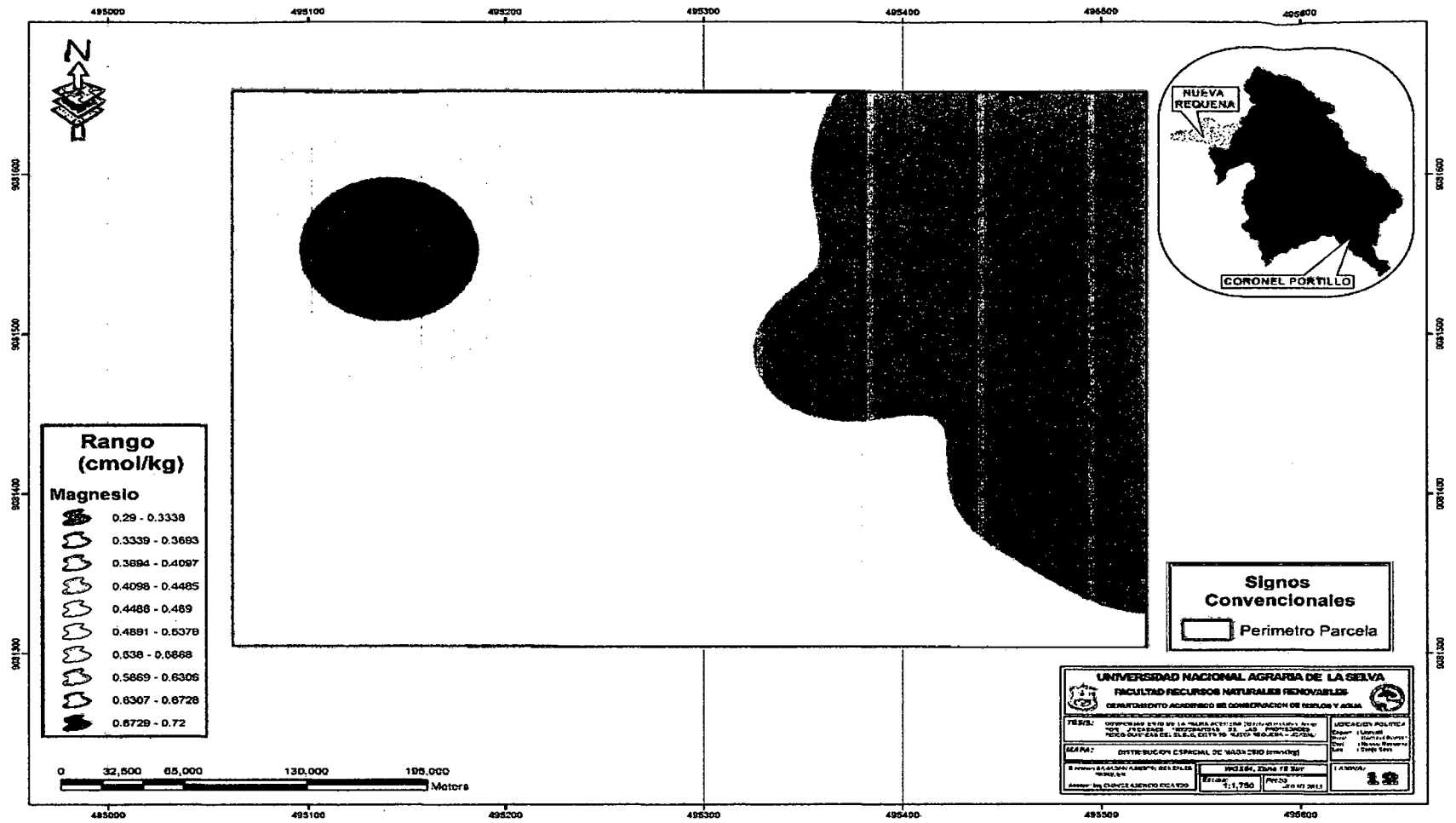


Figura 29. Mapa de distribución espacial de magnesio con cultivo de palma aceitera.

4.3.13. Distribución de saturación de aluminio

Se encontró menor concentración de saturación de Al en la parte baja de la parcela con un área de 0.41 ha, que representa el 2.56% del área total con rangos que va desde 48.50 - 50.80, mientras que los valores más altos se encontró en la margen izquierda alta con un área de 2.64 ha que representa el 16.49% del área total con rangos que va desde 43.91 - 46.20 como se muestra en el (Cuadro 24 y Figura 30).

Cuadro 24. Distribución porcentual de áreas con rangos de saturación de aluminio en suelos con cultivo de palma aceitera.

Rangos	Área (km ²)	Área (ha)	Porcentaje (%)
27.82 - 30.12	0.012	1.17	7.32%
30.12 - 32.42	0.018	1.80	11.22%
32.42 - 34.71	0.017	1.69	10.57%
34.71 - 37.01	0.020	1.97	12.32%
37.01 - 39.31	0.021	2.12	13.22%
39.31 - 41.61	0.017	1.67	10.39%
41.61 - 43.91	0.019	1.91	11.89%
43.91 - 46.2	0.026	2.64	16.49%
46.2 - 48.5	0.006	0.64	4.02%
48.5 - 50.8	0.004	0.41	2.56%
Total	0.160	16.025	100%

Fuente elaboración propia

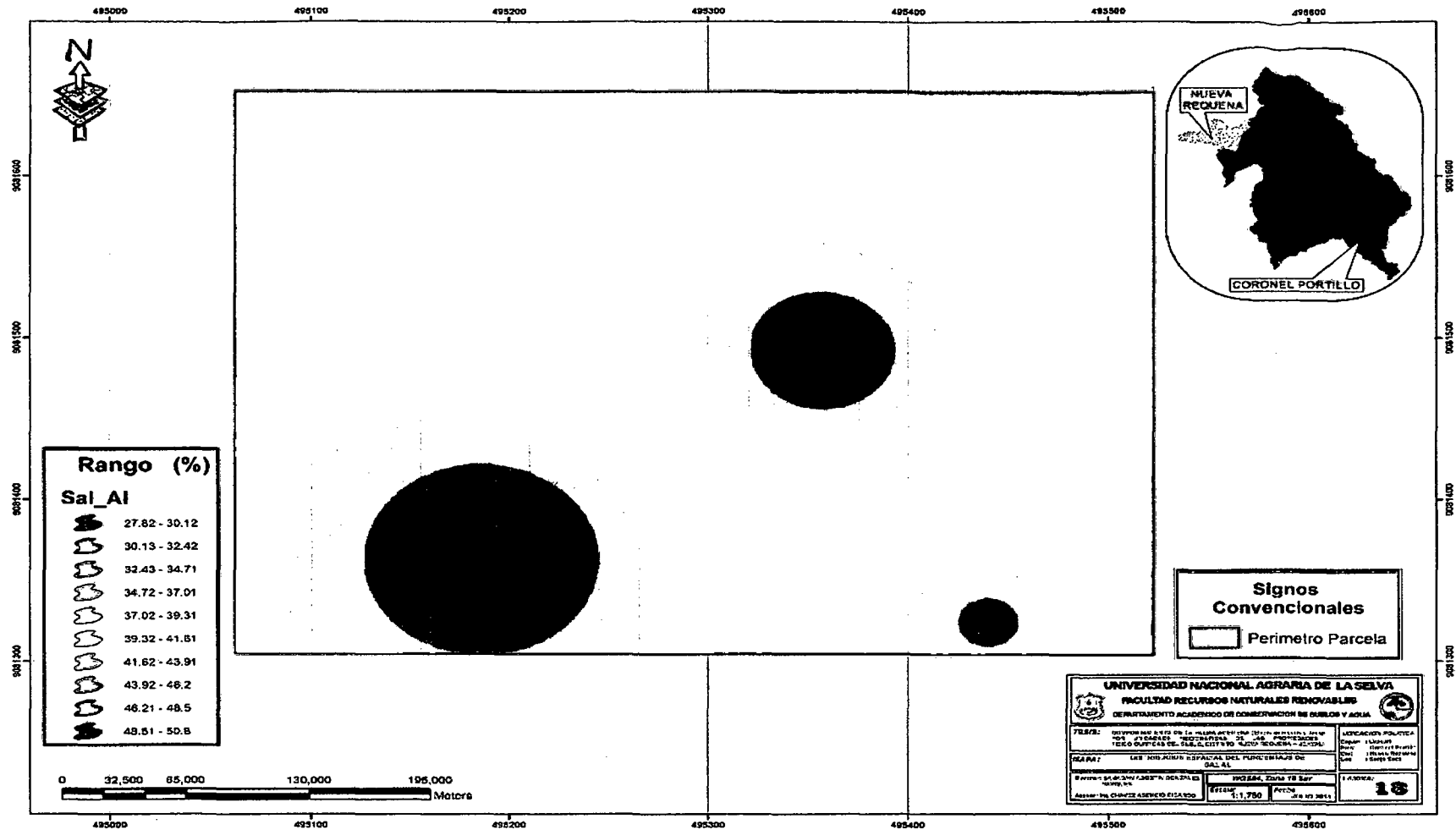


Figura 30. Mapa de distribución espacial con saturación de aluminio en el cultivo de palma aceitera

4.3.14. Distribución de bases cambiables

Se encontró menor concentración de bases cambiables en la parte baja de la parcela en una área de 1.34 ha con un 8.33% del área total, mientras que los valores más altos se encontró en la margen izquierda alta en un área de 0.41 ha con un 2.57% del área total, con rangos que va desde 60.22 - 62.48, mientras que el mayor porcentaje se registran con 16.57 % del área total como se muestra en el (Cuadro 25 y Figura 31).

Cuadro 25. Distribución porcentual de áreas con rangos de acidez cambiante en suelos con cultivo de palma aceitera.

Rangos	Área (km ²)	Área (ha)	Porcentaje (%)
39.84 - 42.1	0.013	1.34	8.33%
42.1 - 44.37	0.018	1.75	10.95%
44.37 - 46.63	0.017	1.65	10.33%
46.63 - 48.9	0.016	1.58	9.86%
48.9 - 51.16	0.024	2.40	14.97%
51.16 - 53.42	0.017	1.68	10.46%
53.42 - 55.69	0.019	1.91	11.94%
55.69 - 57.95	0.027	2.65	16.57%
57.95 - 60.22	0.006	0.65	4.03%
60.22 - 62.48	0.004	0.41	2.57%
Total	0.160	16.025	100%

Fuente elaboración propia

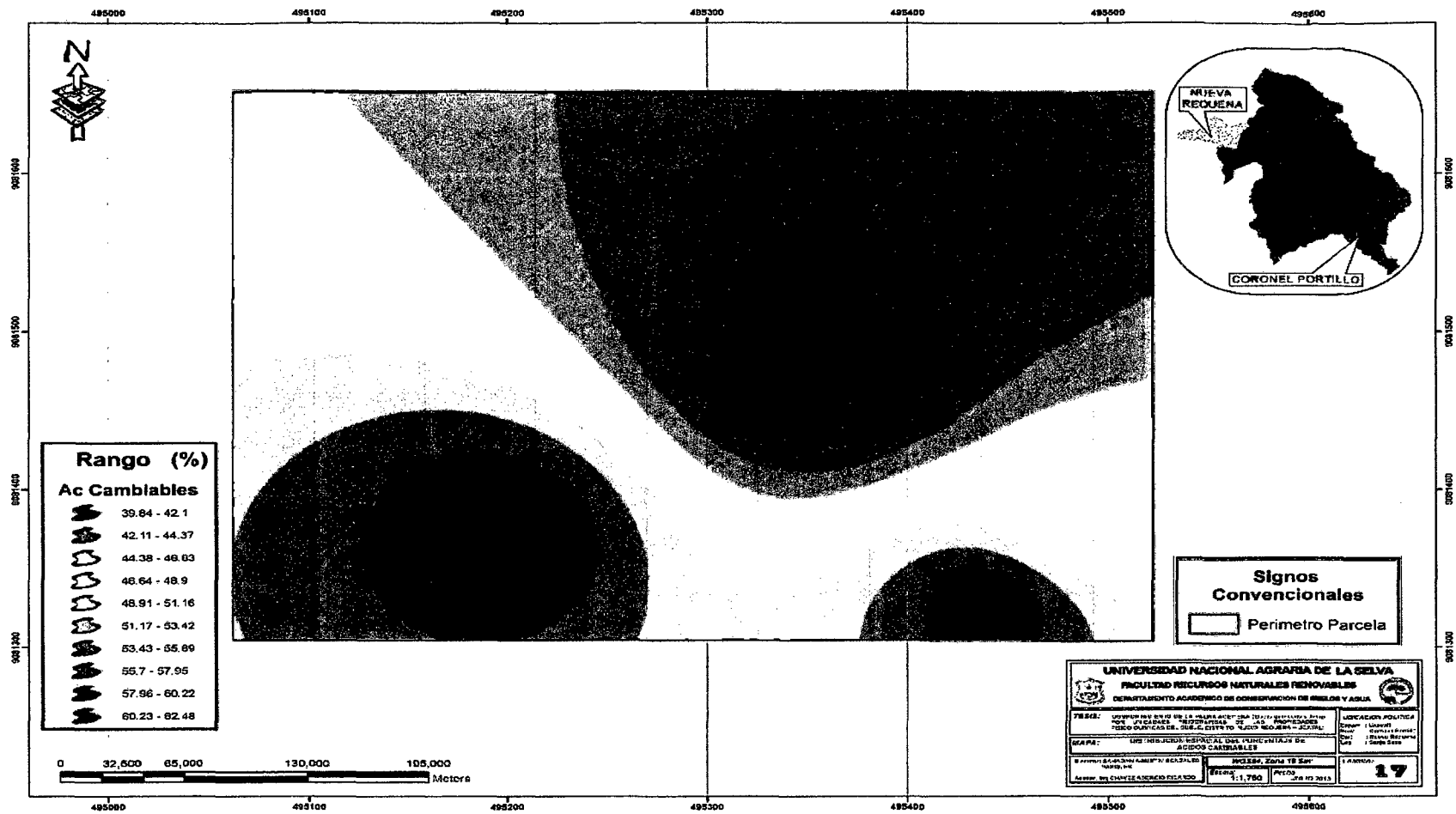


Figura 31. Mapa de distribución espacial con acidez cambiante en el cultivo de palma aceitera

4.3.15. Distribución de aluminio

Se encontró alta concentración de este elemento en la parte media de la parcela en un área de 3.68 ha con 22.98% de área total de la parcela que representa el rango de 1.72 - 2.05, aspecto determinado por la presencia de arcilla posiblemente del tipo caolinítico y además presencia de óxido de fierro, aluminio y manganeso (Cuadro 26 y Figura 32).

Cuadro 26. Distribución porcentual de áreas con rangos de aluminio en suelos con cultivo de palma aceitera.

Rangos	Área (km ²)	Área (ha)	Porcentaje (%)
0.42 - 0.75	0.008	0.83	5.15%
0.75 - 1.07	0.012	1.24	7.75%
1.07 - 1.4	0.009	0.89	5.55%
1.4 - 1.72	0.012	1.23	7.70%
1.72 - 2.05	0.037	3.68	22.98%
2.05 - 2.38	0.035	3.53	22.02%
2.38 - 2.7	0.028	2.79	17.41%
2.7 - 3.03	0.009	0.89	5.55%
3.03 - 3.35	0.006	0.55	3.46%
3.35 - 3.68	0.004	0.39	2.42%
Total	0.160	16.025	100%

Fuente elaboración propia

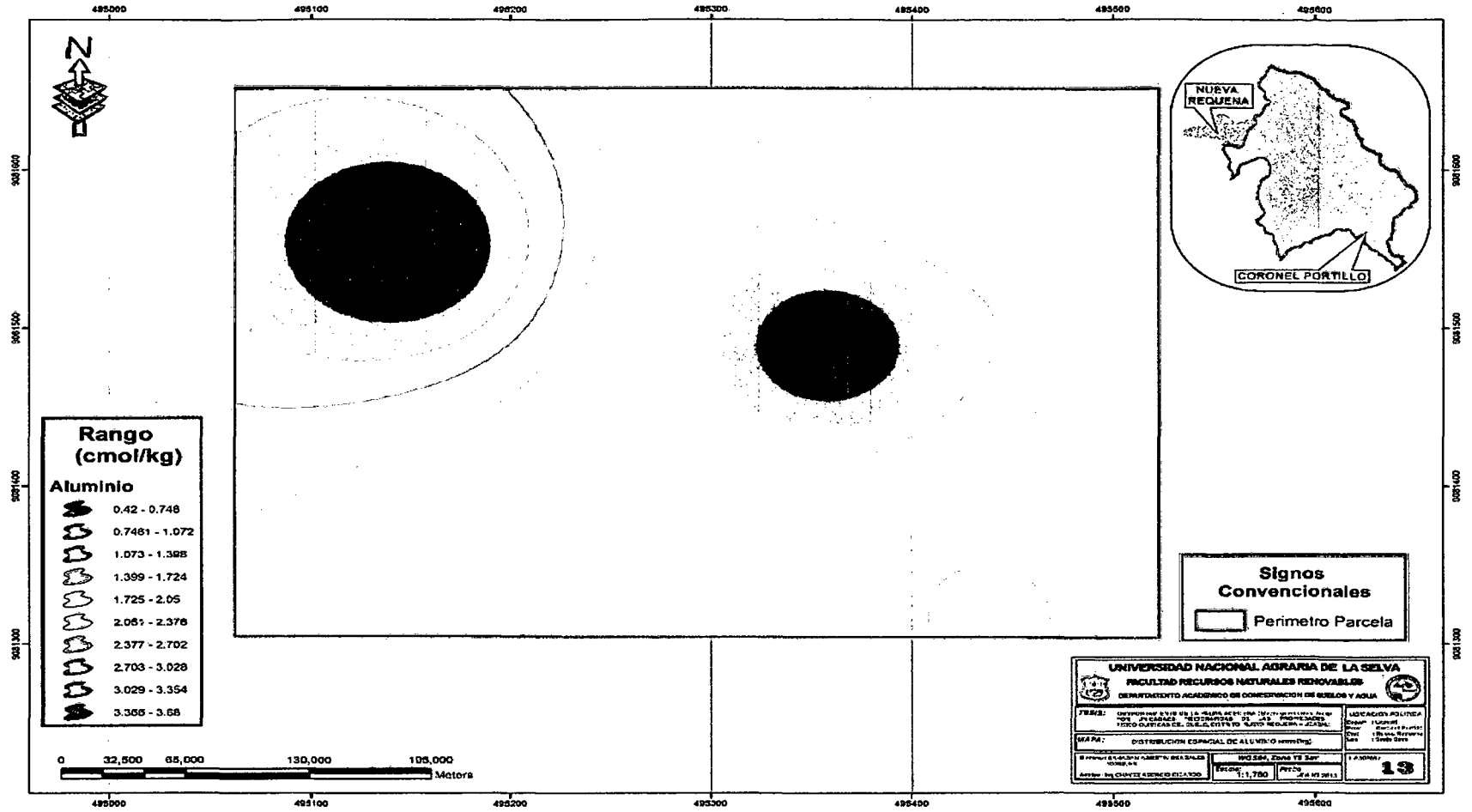


Figura 32. Mapa de distribución espacial de aluminio en el cultivo de palma aceitera

4.3.16. Distribución de hidrógeno

Se encontró menor concentración de hidrogeno en la parte alta al margen izquierdo en un área de 0.56 ha con 3.48% del área total, mientras que los valores más altos se encontró en la parte baja y media de la parcela con rangos que va desde 0.79 - 0.85 que representan un 8.05% del área total de la parcela, y el mayor porcentaje del área total se registra con 23.58%, en 3.78 ha, como se muestra en el (Cuadro 27 y Figura 33).

Cuadro 27. Distribución porcentual de áreas con rangos de hidrógeno en suelos con cultivo de palma aceitera.

Rangos	Área (km ²)	Área (ha)	Porcentaje (%)
0.27 - 0.33	0.006	0.56	3.48%
0.33 - 0.39	0.008	0.81	5.04%
0.39 - 0.44	0.009	0.93	5.82%
0.44 - 0.5	0.005	0.55	3.42%
0.5 - 0.56	0.006	0.57	3.54%
0.56 - 0.62	0.011	1.15	7.17%
0.62 - 0.68	0.032	3.16	19.70%
0.68 - 0.73	0.032	3.24	20.20%
0.73 - 0.79	0.038	3.78	23.58%
0.79 - 0.85	0.013	1.29	8.05%
Total	0.160	16.03	100%

Fuente elaboración propia

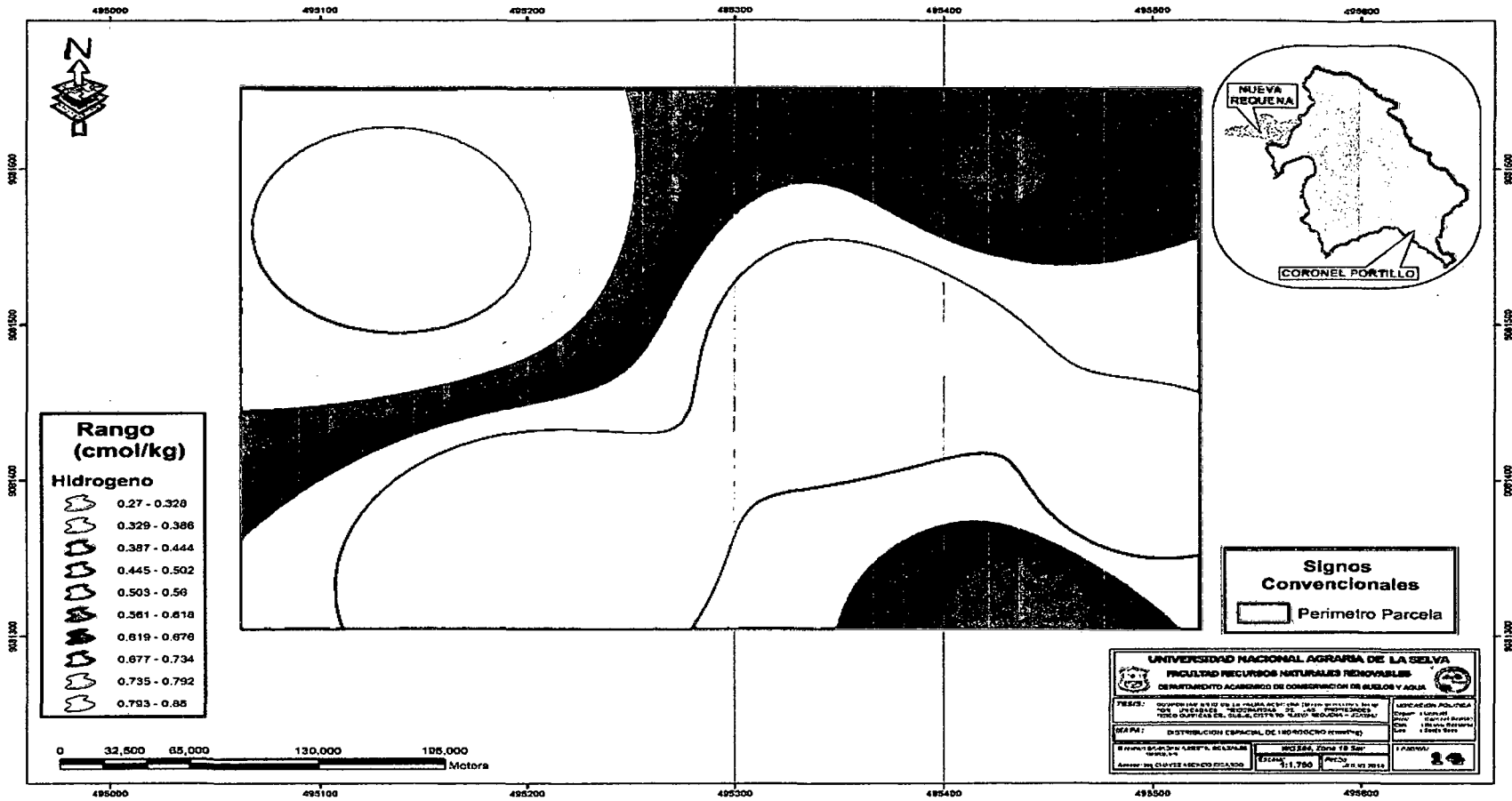


Figura 33. Mapa de distribución espacial de hidrógeno en el cultivo de palma aceitera

V. DISCUSIÓN

5.1. De la caracterización e interpretación por unidades fisiográficas las propiedades físicas y químicas de los suelos sector Zanja Seca

El área de las 16.03 ha del cultivo de palma aceitera se encuentra distribuida por unidades fisiográficas de una colina baja ligera a moderadamente disectada, en una lomada, una terraza baja inundable y no inundable y en ello se evaluó las propiedades físicas y químicas del sector Zanja Seca del distrito Nueva Requena, Ucayali determinando:

Las unidades fisiográficas de colina baja moderadamente disectada, lomada y terraza baja inundable presentan una textura franco arcillo arenoso, mientras que la colina baja ligeramente disectada presenta una textura franco arenoso y la terraza baja inundable presenta una textura franca, se puede observar según los análisis de suelos en un área determinado que la textura no es uniforme sino variada. Según ZAVALETA (1992) hace referencia que las clases texturales se basan en las diferentes combinaciones de arena limo y arcilla, por consiguiente, estas combinaciones son casi infinitas.

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

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 extremadamente ácido (3.73 - 4.18), 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 GUERRERO (2000) 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, RAYGADA (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 limitados en dichos elementos.

El contenido de fósforo es bajo a muy bajo probablemente debido 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 es muy bajo, 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. De la representación y distribución geoespacial por unidades fisiográficas las propiedades físicas y químicas de los suelos con palma aceitera sector Zanja Seca

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.

El mayor contenido de arena, menor contenido de limo y menor contenido de arcilla, estas características favorecen el crecimiento de las plantas SERRADA (2008) 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 aceitera, particularmente en zonas climáticas marginales. La palma aceitera es favorecida por suelos profundos, sueltos y con buen drenaje (SERRADA, 2008) 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 del terreno el contenido de arcilla fue mayor por lo tanto mayor CIC tal como se mostró en la Figura 19 lo que implica que tenga más cargas negativas y estas permitirían la adsorción del K, Ca y Mg reflejado en el mapa 24, 27, 28; para FASSBENDER y BORNEMISZA (1987) 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 el área de la investigación, lleva una relación similar de distribución a la capacidad de intercambio catiónico (Figura 19 y 25), 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 del área de investigación 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 21 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 Zanja Seca.

No se ha encontrado relación entre algunos elementos de los suelos con cultivos de palma para el área de investigación, debido a que esta fue alterado por las actividades humanas y las labores agronómicas que aplican, CEPEDA (1999) 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.

Para nuestro caso la distribución espacial se realizó utilizando el método kriging, que es un método estadístico que nos permite visualizar mediante interpolación detalladamente la distribución de las propiedades físicas y químicas de toda el área de investigación. Para AGUILAR *et al.*, (2002) El método del Kriging presupone una correlación espacial entre los datos de la variable, y describe la correlación tanto espacial como temporal entre los valores de un atributo. Tradicionalmente se ha utilizado en las llamadas geociencias (geofísica, hidrogeología, etc.), sin embargo, sus principios se aplican cada vez más en una amplia variedad de campos científicos como pesquerías, silvicultura, ingeniería civil, procesamiento de imágenes, cartografía, meteorología, etc. Kriging es el método de cálculo de una variable regional en un punto, al interior de un área usando un criterio de minimización de la estimación de la varianza.

VI. CONCLUSIONES

1. Los suelos con palma aceitera por unidades fisiográficas en el sector Zanja Seca distrito Nueva Requena, Ucayali presentan una colina baja ligera a moderadamente disectada, una lomada y una terraza baja inundable a no inundable, en cuanto al contenido de materia orgánica es medio a bajo, pH extremadamente ácido, fósforo bajo a muy bajo, potasio muy bajo, nitrógeno medio a bajo, el CIC_e o potencial de nutrientes es bajo, bajo en bases cambiables, de manera general consideramos a estos suelos como poco fértiles. La clase textural franco arcillo arenoso a franco.
2. Se logró interpretar las diferentes propiedades del suelo en los diferentes mapas temáticos de acuerdo a su distribución espacial de cada componente.

VII. RECOMENDACIONES

- 1. Realizar el mismo trabajo de investigación para diferentes cultivos y de esta manera generar una base de datos.**
- 2. En sus primeros años de establecidos el cultivo de palma aceitera realizar la fertilización en forma fraccionada con roca fosfórica, dolomita, sal agrícola, cloruro de potasio y boronat, en cantidades recomendada según la interpretación del análisis de suelos.**
- 3. Evaluar el rendimiento del cultivo de palma en campo directo y correlacionar con las otras propiedades.**

VIII. ABSTRACT

This research aimed to characterize physiographic units and interpret the physical and chemical properties of soils and represent through geospatial distribution from the use of GIS in the field ditch dry district Nueva Requena - Ucayali. The methodology used in the field phase was: identification of the place, determining the number of samples, soil sampling and data logging and various notes; in the laboratory stage it was: physicochemical analysis of the soil and in the final phase of cabinet: development of thematic maps and statistical evaluation of the variables under study.

As a result was characterized and interpreted the behavior of the physicochemical properties of the soils are loam sandy clay loam to extremely acidic pH medium contained low in organic matter, medium to low in nitrogen, very low in potassium oxide , potential nutrient capacity and exchangeable bases or effective cation exchange is low, aluminum and hydrogen, for each fisiográficas unit; He was represented cartographically in thematic maps, geospatial distribution of physicochemical properties of soils, determining the areas of the levels of texture, pH, organic matter, nitrogen, potassium oxide, capacity effective cation exchange, exchangeable bases, aluminum and hydrogen, by physiographic units, determining that the land area of New Requena dry ditch area district - Ucayali have propitious soil for the production of oil palm.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACHUY, J. 2006. ArcGis; Manual de sistema de información geográfica. Lima - Perú. Editorial Grupo Universitario S.A.C. 321 p.
- AGUILAR, M., AGUILAR, F., CARVAJAL, F., AGÜERA, F. 2001. Evaluación de diferentes técnicas de interpolación espacial para la generación de modelos digitales del terreno agrícola.
- AGUILAR, F., AGUILAR, M., CARVAJAL, F., AGÜERA, F, SANCHEZ, P. 2002. Efectos de la morfología del terreno, densidad muestral y métodos de interpolación en la calidad de modelos digitales de elevaciones. *In: XIV Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica. Universidad de Almería.*
- AMEZQUITA, E. 1989. Algunas consideraciones agroclimático y edáficas para uso y manejo integral de suelos. En curso de Actualización sobre Suelo y Fertilización. pp. 211-22.
- ARAB. 2001. Identifying & Treating nutrient deficiencies and other disorders in the oil palm (*Elaeis guineensis*) Pocket Guide. www.Arabis.org. 21 p
- ARÉVALO, L., SANCO, M. 2002. Manual de laboratorio para análisis físico químico del suelo. S.I. ICRF – CHEMONICS. 48 p.
- BAVER, GARDNER, W.H y GARDNER, W. R.1973. Física de suelos. México.52.
- BARBOSA, O.A.; TOGNELLI G.C.; SOLARI F.A. & LARTIGUE C.2002 Uso de la Tierra para un sector del Río Chorrillos (San Luis, Argentina). En: International Congress on Agricultural Engineering, 13, Proceedings. Rabat, Marruecos. v.1, p.457-467.

- CALZADA, J. 1983. Métodos estadísticos para la investigación. Ed. Jurídica S.A. 3 ed. Lima, Perú. 643 p
- CEPEDA, D. 1991. Química de Suelos. 2° Ed. México. Editorial Trillas S.A.
- CRESSIE, N. 1991. Statistics for spatial data. New York, John Wiley.
- DONOUGH, C.R. 2008. Manejo de la nutrición y fertilización de la palma Aceitera. Informaciones Agronómicas. N° 69, p. 1-9.
- DURAN N.; SALAS, R.; CHINCHILLA, C.; PERALTA, F. 1999. Manejo de la nutrición y fertilización en palma aceitera en Costa Rica. XI Congreso Nacional Agronómico, ASD Costa Rica.
- FALLAS, J. 2003b. Comparación de dos métodos de interpolación para elaborar un modelo de elevación digital a partir de curvas de nivel a escala 1: 200, 000 para Costa Rica. Universidad Nacional. Programa Regional en Manejo de vida silvestre y Ciencias Ambientales.
- FASSBENDER, H., BORNEMISZA, E. 1987. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. 2 ed. Editorial IICA. San José Costa Rica. 40 p.
- FELICÍSIMO, A. 1994. Modelos digitales del terreno; Introducción y aplicaciones en las ciencias ambientales.
- FERNANDEZ R. 2006. Manual de técnicas de análisis de suelos. Instituto Mexicano del petróleo, México D.F.
- GOOVAERTS, P. 1999. Geostatistics in soil science: state of the art and perspectives. Geoderma 89 (1-2): 1-45.
- GUERRERO, 2000. El suelo, los abonos y la fertilización de los cultivos. 2° Reimpresión. Editorial. AEDOS. S.A. España.

- GUZMAN, O. M. 2008. Manual de fertilizantes para cultivos de alto rendimiento. Soil improvement committee. California. 366 p.
- HOLDRIDGE, R. 1987. Ecología basada en zonas de vida. 3 ed. San José, Costa Rica, Servicio editorial IICA. 216 p.
- IQBAL, J., THOMASSON, J., JENKINS, J., OWENS, P., WHISLER, F. 2005. Spatial variability analysis of soil physical properties of alluvial soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 69: 1338-1350 p.
- LAREZ, C.R., 2003. Traducción del: Agricultural Field Manual Oil palm (*Elaeis guineensis*) Fondo para la Investigación en Palma Aceitera. Parcelamiento El Zamuro, Venezuela Maturín 89 p.
- McBRATNEY, A. B., MEDONCA SANTOS, M. L., MINASNY, B. 2003. On digital soil mapping. Geoderma 117: 3-52 p.
- 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.
- NAVARRO, G, G, NAVARRO, S. B. 2003. Química Agrícola. Ediciones Mundi – Prensa, México, D.F 487 p.
- NAVARRO, G. 2003. Química Agrícola. El suelo y los elementos químicos esenciales en la vida vegetal. 2° Ed. Mundi Prensa. España.
- PACHECO, C. 2003. Evaluación de factores de escala en los métodos de digitalización e interpolación para la elaboración de un modelo digital de elevaciones (MDE) en cuencas montañosas. Tesis Magíster Scientiae en Manejo de cuencas hidrográficas. Mérida, Venezuela. Universidad de los Andes.

- PEREZ, R. 2000. Selección óptima del método de interpolación en el tratamiento de las bases de datos: una aplicación en la construcción de las cartas magnéticas. Rev. Cs. Tierra y Esp. La Habana – Cuba. N° 1/2000. Art.5
18. SANCHEZ, Pedro -1.981- Suelos del trópico: Características y manejo. IICA-Turrialba.
- RAYGADA, Z.R. 2005. Manual técnico para el cultivo de la palma aceitera. Edición 1ra. 109p.
- 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.
- SERRADA, R. 2008. Apuntes de Selvicultura; Influencia de los factores ecológicos en la vegetación. Servicio de Publicaciones. EUIT Forestal. Madrid, España. 94- 96 p.
- SOIL SURVEY STAFF. 1993. Soil survey manual. United States Department of Agriculture. Hnbk no. 18 U.S. Gov. Printing Office, Washington, DC.
- TARMIZI, A, M, MoHD T, D. 2006. Nutrient demandas of Tenera oil palm plante don inlamd soils of Malasia palm oil Board. Journal of oil pal research 18: 204-209.
- 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.
- VILCHEZ J. 2000. Evaluación de la exactitud de los modelos de elevación digital de malla regular generados a partir de curvas de nivel. Universidad de los Andes.
- WEBSTER, R., BURGESS, T. M. 1985. 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.
- ZAVALA, S. W. 1999. Estudio Morfopedológico Como base para la recuperación de suelo Degradados en Tingo María. Tesis Ms C. UNAM la Molina Perú.
- ZAVALETA, A. 1992. Edafología, El suelo en relación con la producción. CONCYTEC. Lima – Perú. 223 pp.
- 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.

X. ANEXO

Anexo 1. Muestreo de suelos

Cuadro 28. Toma de muestra de los suelos con sus coordenadas del cultivo de palma aceitera

Muestras	Submuestras	Coordenadas		Muestras	Submuestras	Coordenadas	
		Norte	Este			Norte	Este
1	S1	9081314.08	495522.02	2	S1	9081440.08	495428.42
	S2	9081332.08	495506.46		S2	9081444.58	495405.02
	S3	9081305.08	495490.82		S3	9081467.08	495397.22
	S4	9081323.08	495475.22		S4	9081498.58	495389.42
	S5	9081345.58	495451.82		S5	9081471.58	495373.82
	S6	9081314.08	495444.02		S6	9081498.58	495358.22
	S7	9081341.08	495412.82		S7	9081494.08	495334.82
	S8	9081309.58	495389.42		S8	9081525.58	495327.02
	S9	9081345.58	495373.82		S9	9081521.08	495303.62
	S10	9081327.58	495342.62		S10	9081530.08	495272.42
3	S1	9081638.08	495132.02	4	S1	9081386.08	495522.02
	S2	9081611.08	495069.62		S2	9081372.58	495514.22
	S3	9081593.08	495116.42		S3	9081399.58	495514.22
	S4	9081552.58	495077.42		S4	9081381.58	495498.62
	S5	9081521.08	495100.82		S5	9081359.08	495490.82
	S6	9081543.58	495124.22		S6	9081390.58	495483.02
	S7	9081507.58	495155.42		S7	9081368.08	495475.22
	S8	9081525.58	495202.22		S8	9081417.58	495467.42
	S9	9081489.58	495233.42		S9	9081390.58	495451.82
	S10	9081503.08	495256.82		S10	9081390.58	495420.62
5	S1	9081314.08	495288.02	6	S1	9081638.08	495132.02
	S2	9081350.08	495272.42		S2	9081611.08	495069.62
	S3	9081404.07	495288.02		S3	9081593.08	495116.42
	S4	9081386.08	495241.22		S4	9081552.58	495077.42
	S5	9081341.08	495210.02		S5	9081521.08	495100.82
	S6	9081417.58	495186.62		S6	9081543.58	495124.22
	S7	9081395.08	495163.22		S7	9081507.58	495155.42
	S8	9081314.08	495132.02		S8	9081525.58	495202.22
	S9	9081359.08	495116.42		S9	9081489.58	495233.42
	S10	9081431.08	495085.22		S10	9081503.08	495256.82

Anexo 2. Panel fotográfico

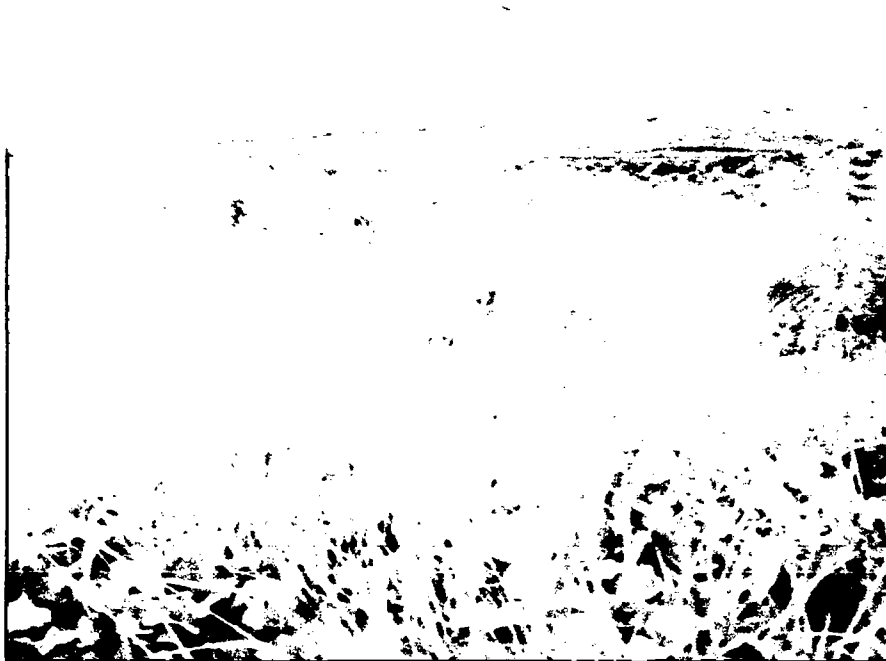


Figura 34. Área de terreno con instalación del cultivo de palma aceitera



Figura 35. Muestreo de suelo en el área con cultivo de palma aceitera



Figura 36. Unidad fisiográfica de una terraza baja no inundable



Figura 37. Pedón de suelo para ser enviado al laboratorio de suelos UNAS