

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**

TRABAJO DE TITULACIÓN SOMETIDO A CONSIDERACIÓN DEL H. CONSEJO
DIRECTIVO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS COMO
REQUISITO PREVIO PARA OPTAR AL GRADO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO

**MAPIFICACIÓN DEL GRADO DE FERTILIDAD DE
SUELOS, MEDIANTE LOS SISTEMAS DE
INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG), DEL CANTÓN
LAS LAJAS PROVINCIA DE EL ORO**

AUTOR:

NELSON NEY CHUCHUCA MONSERRATE

DIRECTOR:

ING. AGRIC. JULIO CHABLA CARRILLO Mg. Sc.

Este trabajo de titulación ha sido aceptada en forma presente por el tribunal de grado nominado por el Honorable Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Machala, como requisito parcial para optar al grado de:

INGENIERO AGRÓNOMO

Ing. Agric. Julio Chabla Carrillo Mg. Sc.

DIRECTOR

Dr. Rigoberto García Batista PHD

Miembro del Tribunal

Ing. Agr. Juan Luis Gallardo Tinoco.

Miembro del Tribunal



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS DE TESIS DE GRADO Y TRABAJOS DE TITULACIÓN

Consigno con el presente escrito la cesión de los Derechos de Tesis / Trabajo de Titulación, de conformidad con las siguientes clausulas:

PRIMERA

Por sus propios derechos y en calidad de Director de Tesis el Ing. Agric. Julio Chabla Carrillo Mg. Sc., y el tesista Sr. Nelson Ney Chuchuca Monserrate, por sus propios derechos, en calidad de Autor de tesis.

SEGUNDA

El tesista Sr. Nelson Ney Chuchuca Monserrate, realizo la Tesis Titulada “MAPIFICACIÓN DEL GRADO DE FERTILIDAD DE SUELOS, MEDIANTE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG), DEL CANTÓN LAS LAJAS PROVINCIA DE EL ORO”, para optar por el título de Ingeniero Agrónomo, en la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Machala, bajo dirección del Docente Ing. Agric. Julio Chabla Carrillo Mg. Sc., es política de la Universidad que la Tesis de Grado se aplique y materialice en beneficio de la colectividad.

Los comparecientes Ing. Agric. Julio Chabla Carrillo Mg. Sc., como director de Tesis y el tesista Sr. Nelson Ney Chuchuca Monserrate, como autor de la misma, por medio del presente instrumento, tiene a bien ceder en forma gratuita sus derechos de Tesis a la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Machala y conceden autorización para que la Universidad pueda utilizar esta Tesis en su favor y/o de la colectividad, sin reserva alguna.

APROBACIÓN

Las partes declaran que reconocen expresamente todo lo estipulado en la presente Cesión de Derechos.

Para constancia suscriben la presente Cesión de Derechos en la ciudad de Machala a los 23 días del mes de Enero del año 2014.

Ing. Agric. Julio Chabla Carrillo Mg. Sc.
DIRECTOR DE TESIS

Sr. Nelson Ney Chuchuca Monserrate
AUTOR

Los resultados y conclusiones
obtenidos en esta investigación son
de exclusiva responsabilidad del
investigador

Nelson Ney Chuchuca Monserrate

DEDICATORIA

A Dios Todopoderoso Jehová de los ejércitos, a su hijo unigénito Jesucristo y al Espíritu Santo, que me permiten tener vida y salud brindándome la oportunidad de culminar mis estudios de nivel superior.

Con amor para mis padres Nelson Orlando Chuchuca Oyola y Zoila Guillermina Monserrate Silva porque son uno de los grandes ejemplos que tengo en mi vida, guiándome con sus consejos para ser una persona con valores morales y espirituales que al final influyeron mucho en mi vida, que con cada gesto de amor y paciencia me supieron apoyar hasta lograr la meta propuesta de ser el primer profesional de la familia.

A mis hermanos y hermanas Orlando, María, Marlene, Luis Miguel y Luis Alberto quienes de una u otra manera me brindaron su apoyo incondicional en los momentos en los que necesitaba de su ayuda.

Con mucho cariño a mis abuelos paternos Vidal Chuchuca (+) y Bélgica Oyola, a mis abuelos maternos Wimper Monserrate y Clemencia Silva quienes también me supieron guiar con sus consejos lo cual guardo bonitos recuerdos en especial de mi abuelo Vidal Chuchuca (+), a mis tíos (as) que me apoyaron en su momento moralmente y económicamente para que logre el objetivo de ser un profesional.

Nelson N. Chuchuca M.

AGRADECIMIENTO

A mi Director el Ing. Agric. Julio Chabla Carrillo Mg. Sc, y a los miembros del tribunal Ing. Agr. Juan Luis Gallardo Tinoco y al Dr. Rigoberto García Batista PHD, quienes me brindaron su apoyo en la culminación de este trabajo de Titulación.

A la Ing. Agr. Norma Cruz Jácome jefe del Laboratorio de Suelos que también colaboró para que este trabajo se realizara y culminara con éxito, a mis compañeros que de una u otra forma contribuyeron para que la investigación se realizara y finalizara satisfactoriamente.

A la Universidad Técnica de Machala, a la Facultad de Ciencias Agropecuarias y a la Escuela de Ingeniería Agronómica, que me brindó los conocimientos y la formación necesaria para competir en el campo profesional.

El Autor

INDICE DE CONTENIDO

Texto	Página
1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 EL SUELO	3
2.2 COMPONENTES DEL SUELO	4
2.3 PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO	4
2.3.1 <i>TEXTURA DEL SUELO</i>	4
2.3.1.1 Textura arcillosa	5
2.3.1.2 Textura arenosa	6
2.3.1.3 Textura limosa	6
2.3.1.4 Textura franca	6
2.3.2 <i>LA ESTRUCTURA DEL SUELO</i>	6
2.3.2.1 Según el grado de desarrollo de los agregados	6
2.3.2.2 Según la forma de los agregados:	7
2.3.3 <i>POROSIDAD DEL SUELO</i>	7
2.3.4 <i>DENSIDAD APARENTE Y DENSIDAD REAL</i>	8
2.3.5 <i>CONSISTENCIA DEL SUELO</i>	9
2.3.5.1 Caracterización de la plasticidad del suelo	9
2.3.5.2 Valores de la plasticidad	9
2.3.5.3 Significado de los límites de Atterberg	10
2.3.6 <i>COLOR DEL SUELO</i>	10
2.4 PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO	11
2.4.1 <i>pH DEL SUELO</i>	11
2.4.2 <i>CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO (CIC)</i>	12
2.4.3 <i>MATERIA ORGÁNICA (MO)</i>	13
2.4.3.1 Proceso de descomposición y mineralización de los residuos orgánicos.	14
2.4.3.2 Humificación biológica y abiológica.	14

2.4.3.3 Factores que influyen en la humificación.	15
2.5 CARBONO ORGÁNICO TOTAL DEL SUELO	16
2.6 NUTRIMENTOS DEL SUELO	16
2.7 LA FERTILIDAD DEL SUELO	17
2.8 MÉTODO PARA EVALUAR LA FERTILIDAD DEL SUELO	18
2.8.1 ANÁLISIS QUÍMICO DEL SUELO	18
2.9 NITRÓGENO EN EL SUELO	18
2.9.1 NITRÓGENO ORGÁNICO	18
2.9.2 NITRÓGENO INORGÁNICO	19
2.10 FÓSFORO EN EL SUELO	19
2.10.1 FÓSFORO ORGÁNICO	19
2.10.2 FÓSFORO INORGÁNICO	19
2.10.2.1 Fósforo soluble	19
2.10.2.2 Fósforo intercambiable	20
2.10.2.3 Fósforo insoluble	20
2.11 POTASIO EN EL SUELO	21
2.11.1 POTASIO INORGÁNICO	21
2.11.2 POTASIO ORGÁNICO	21
2.11.2.1 Potasio no disponible	21
2.11.2.2 Potasio lentamente disponible	21
2.11.2.3 Potasio rápidamente disponible	22
2.12 CALCIO EN EL SUELO	22
2.12.1 FORMAS DE CALCIO EN EL SUELO	23
2.12.2 FUENTES DE CALCIO EN EL SUELO	23
2.13 MAGNESIO EN EL SUELO	25
2.14 HIERRO EN EL SUELO	26
2.15 COBRE EN EL SUELO	27
2.16 ZINC EN EL SUELO	27
2.17 MANGANESO EN EL SUELO	27
2.18 SODIO EN EL SUELO	28
2.19 SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA (SIG)	29
2.19.1 COMPONENTES DE UN SIG	30
2.20 BASE DE DATOS GEOGRAFICOS O GEODATABASE	31

2.21 TOPOLOGÍAS, MODELOS DE DATOS Y TIPOS DE SIG	31
2.21.2. <i>LOS SIG RASTER</i>	32
2.21.3. <i>LOS SIG ORIENTADOS A OBJETOS</i>	33
2.22 UNIDAD CARTOGRAFICA DE SUELOS	35
2.23 ZONIFICACION	35
3. MATERIALES Y MÉTODOS	36
3.1 MATERIALES	36
3.1.1 <i>DESCRIPCIÓN DEL ÁREA EN ESTUDIO</i>	36
3.1.2 <i>COORDENADAS GEOGRÁFICAS</i>	37
3.1.3 <i>MATERIALES UTILIZADOS</i>	37
3.1.3.1 Materiales de laboratorio	37
3.1.3.2 Reactivos	37
3.1.4 <i>FACTORES DE ESTUDIO</i>	38
3.2 MÉTODOS	38
3.2.1 <i>METODOLOGÍA PARA CUMPLIR CON EL PRIMER OBJETIVO</i>	38
3.2.1.2 Análisis Mecánico, protocolo de Bouyoucus	39
3.2.1.3 Capacidad de intercambio catiónico (CIC), protocolo de Chapman	40
3.2.1.4 N, P, K, Ca, Mg, Na, S, B, Mn, Fe, Cu y Zn. Protocolo del Espectrofotómetro de absorción Atómica.	40
3.2.1.5 Calcio, potasio, sodio y magnesio cambiabiles. Protocolo del Espectrofotómetro de Absorción Atómica.	41
3.2.2 <i>METODOLOGÍA PARA CUMPLIR CON EL SEGUNDO OBJETIVO.</i>	43
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	50
4.1 MAPAS DE LOS NIVELES DE LOS ELEMENTOS DE LA ZONA EN INVESTIGACIÓN	50
4.1.1 <i>MAPA DE TEXTURAS</i>	50
4.1.2 <i>MAPA DE LOS NIVELES DE CARBONO ORGÁNICO</i>	53
4.1.3 <i>MAPA DE LOS NIVELES DE LA MATERIA ORGÁNICA</i>	55
4.1.4 <i>MAPA DE LOS NIVELES DE LA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO (CIC)</i>	58
4.1.5 <i>MAPA DE LOS NIVELES DE pH</i>	60
4.1.6 <i>MAPA DE LOS NIVELES DE NITRÓGENO</i>	63

<i>4.1.7 MAPA DE LOS NIVELES DE FÓSFORO</i>	66
<i>4.1.8 MAPA DE LOS NIVELES DE POTASIO</i>	69
<i>4.1.9 MAPA DE LOS NIVELES DE HIERRO</i>	72
<i>4.1.10 MAPA DE LOS NIVELES DE COBRE</i>	74
<i>4.1.11 MAPA DE LOS NIVELES DE ZINC</i>	76
<i>4.1.12 MAPA DE LOS NIVELES DE MANGANESO</i>	78
<i>4.1.13 MAPA DE LOS NIVELES DE SODIO CAMBIABLE</i>	80
<i>4.1.14 MAPA DE LOS NIVELES DE POTASIO CAMBIABLE</i>	82
<i>4.1.15 MAPA DE LOS NIVELES DE CALCIO CAMBIABLE</i>	84
<i>4.1.16 MAPA DE LOS NIVELES DE MAGNESIO CAMBIABLE</i>	86
<i>4.1.17 MAPA DEL GRADO DE FERTILIDAD</i>	88
5. CONCLUSIONES	91
6. RECOMENDACIONES	92
7. RESUMEN	93
8. SUMMARY	95
9. BIBLIOGRAFÍA CITADA	97
APÉNDICE	100

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadros	Página
1. Propiedades del suelo según su textura.	7
2. Porcentaje de porosidad según la densidad aparente de diferentes clases texturales.	8
3. Fuentes de magnesio en el suelo.	25
4. Niveles de toxicidad de sodio para las plantas.	29
5. Interpretación de los principales nutrimentos del suelo del Sur del Ecuador.	42
6. Puntaje y apreciación de la fertilidad de los suelos.	43
7. Superficie de distribución y representación en porcentajes de las clases texturales del cantón Las Lajas, 2013.	51
8. Superficie de distribución y representación en porcentajes de Carbón Orgánico del cantón Las Lajas, 2013.	53
9. Superficie de distribución y representación en porcentajes de la materia orgánica del cantón Las Lajas, 2013.	56
10. Superficie de distribución y representación en porcentajes de la CIC del cantón Las Lajas, 2013.	58
11. Superficie de distribución y representación en porcentajes del pH del cantón Las Lajas, 2013.	61
12. Superficie de distribución y representación en porcentajes de los niveles de nitrógeno en el cantón Las Lajas, 2013.	64
13. Superficie de distribución y representación en porcentajes de los niveles de fósforo en el cantón Las Lajas, 2013.	67
14. Superficie de distribución y representación en porcentajes de los niveles de potasio en el cantón Las Lajas, 2013.	70
15. Superficie de distribución y representación en porcentajes de los niveles de hierro en el cantón Las Lajas, 2013.	72
16. Superficie de distribución y representación en porcentajes de los niveles de cobre en el cantón Las Lajas, 2013.	74
17. Superficie de distribución y representación en porcentajes de los niveles de zinc en el cantón Las Lajas, 2013.	76
18. Superficie de distribución y representación en porcentajes de los niveles de manganeso en el cantón Las Lajas, 2013.	78
19. Superficie de distribución y representación en porcentajes de los niveles de sodio cambiante en el cantón Las Lajas, 2013.	80
20. Superficie de distribución y representación en porcentajes de los niveles de potasio cambiante en el cantón Las Lajas, 2013.	82
21. Superficie de distribución y representación en porcentajes de los niveles de calcio cambiante en el cantón Las Lajas, 2013.	84

22. Superficie de distribución y representación en porcentajes de los niveles de magnesio cambiante en el cantón Las Lajas, 2013.	86
23. Superficie de distribución y representación en porcentajes del grado de fertilidad en el cantón Las Lajas, 2013.	89

ÍNDICE DE FIGURAS

Figuras	página
1. Etapas de la formación del suelo.	3
2. Esquema de las fases del suelo.	4
3. Triangulo de texturas.	5
4. Proceso de desintegración de la Materia Orgánica del suelo.	13
5. Modelos de Sistemas de Información Geográfica.	31
6. Formación de polígonos en topología vectorial.	32
7. Organización en el modelo en topología raster.	33
8. Modelo de datos orientados a objetos.	34
9. Mapa del Ecuador en el que se ubica al cantón Las Lajas, provincia de El Oro	36
10. Apertura de ArcMap y escoger un archivo en blanco.	44
11. Agregar la base de datos interpretada de Excel que se encuentra en la hoja 1.	44
12. Edición de las coordenadas del archivo de Excel.	45
13. Edición y proyección de las coordenadas geográficas.	45
14. Creación del shapets de la base de datos.	46
15. Cargar el mapa general del ecuador.	46
16. Edición del mapa del cantón las Lajas.	47
17. Agregar campos de la base de datos.	47
18. Interpolación de la base de datos.	48
19. Selección del campo para graficar el mapa.	48
20. Elegir el intervalo según el campo y número de datos como estén clasificados.	49
21. Distribución gráfica en km ² de las clases texturales en el cantón Las Lajas.	51
22. Mapa de las clases texturales y su distribución en el cantón Las Lajas, 2013.	52
23. Distribución gráfica en km ² de carbono orgánico en el cantón Las Lajas, 2013.	53
24. Mapa de los niveles de carbono orgánico del cantón Las Lajas, 2013.	54
25. Distribución gráfica en km ² de la materia orgánica en el cantón Las Lajas, 2013.	56
26. Mapa de los niveles de la materia orgánica y su distribución en el cantón Las Lajas, 2013.	57
27. Distribución gráfica en km ² de la CIC en el cantón Las Lajas, 2013.	58
28. Mapa de los niveles de la CIC del cantón Las Lajas, 2013.	59
29. Distribución gráfica en km ² del pH en el cantón Las Lajas, 2013.	61
30. Mapa de los niveles de pH del cantón Las Lajas, 2013.	62
31. Distribución gráfica en km ² de los niveles de nitrógeno en el cantón Las Lajas, 2013.	64

32. Mapa de los niveles de nitrógeno y su distribución en el cantón Las Lajas, 2013.	65
33. Distribución gráfica en km ² de los niveles de fósforo en el cantón Las Lajas, 2013.	67
34. Mapa de los niveles de fósforo del cantón Las Lajas, 2013.	68
35. Distribución gráfica en km ² de los niveles de potasio en el cantón Las Lajas, 2013.	70
36. Mapa de los niveles de potasio del cantón Las Lajas, 2013.	71
37. Distribución gráfica en km ² de los niveles de hierro en el cantón Las Lajas, 2013.	72
38. Mapa de los niveles de hierro del cantón Las Lajas, 2013.	73
39. Distribución gráfica en km ² de los niveles de cobre en el cantón Las Lajas, 2013.	74
40. Mapa de los niveles de cobre del cantón Las Lajas, 2013.	75
41. Distribución gráfica en km ² de los niveles de zinc en el cantón Las Lajas, 2013.	76
42. Mapa de los niveles de zinc del cantón Las Lajas, 2013.	77
43. Distribución gráfica en km ² de los niveles de manganeso en el cantón Las Lajas, 2013.	78
44. Mapa de los niveles de manganeso del cantón Las Lajas, 2013.	79
45. Distribución gráfica en km ² de los niveles de sodio cambiante en el cantón Las Lajas, 2013.	80
46. Mapa de los niveles de sodio cambiante del cantón Las Lajas, 2013.	81
47. Distribución gráfica en km ² de los niveles de potasio cambiante en el cantón Las Lajas, 2013.	82
48. Mapa de los niveles de potasio cambiante del cantón Las Lajas, 2013.	83
49. Distribución gráfica en km ² de los niveles de calcio cambiante en el cantón Las Lajas, 2013.	84
50. Mapa de los niveles de calcio cambiante del cantón Las Lajas, 2013.	85
51. Distribución gráfica en Km ² de los niveles de magnesio cambiante en el cantón Las Lajas, 2013.	86
52. Mapa de los niveles de magnesio cambiante del cantón Las Lajas. 2013.	87
53. Distribución gráfica en Km ² de los niveles de Fertilidad en el cantón Las Lajas, 2013.	89
54. Mapa de los niveles de Fertilidad del cantón Las Lajas. 2013.	90

1. INTRODUCCIÓN

En el Ecuador existe un marcado avance en la cartografía a nivel nacional, presentando mapas a diversas escalas, aportando con la educación y resolviendo aspectos importantes con el uso de la geoinformación, gracias a la participación del Instituto Geográfico Militar (IGM), que es el ente rector de elaborar la Cartografía Nacional y los archivos de datos geográficos de nuestro país por medio del Ministerio de Defensa, en la provincia de El Oro se han realizado pocos estudios relacionados con el mapeo de suelos donde se determine el grado de fertilidad a nivel cantonal, actualmente existe poca información de datos cartográficos donde se mida este parámetro en nuestra provincia, dado que estos proyectos implican altos costos para su ejecución.

En el cantón Las Lajas en el año 2007 se realizó un Monitoreo y Mapificación del estado actual de los suelos por su reacción aplicando los Sistemas de Información Geográfica (SIG), por lo cual nos vemos incentivados a contribuir a la ciencia y al agro de este cantón, con el logro de nuevos datos geográficos actualizados aplicados al suelo.

Es de importancia conocer las nuevas alternativas que se están utilizando en el campo de la Cartografía a nivel nacional y local, para mejorar la capacidad de producción de los suelos e incrementar la actividad agraria, en este caso se utilizará los Sistemas de Información Geográfica (SIG) específicamente el software ArcGIS 9,3 que es una herramienta esencial para la manipulación de los resultados de laboratorio y poder resolver los problemas asociados al uso, conservación y estado actual de los suelos del Cantón Las Lajas.

La interacción de los componentes de los SIG permitirá un análisis integrado del estado del suelo y de las medidas de sustentabilidad y sostenibilidad agrícola que pueden ser confrontados cartográficamente y de forma digital, aplicando las herramientas del SIG se representará la situación actual de los suelos mediante una correcta manipulación del hardware, software y datos obtenidos diseñados, que permiten visualizar el grado de fertilidad del Cantón Las Lajas.

Los objetivos fueron:

Objetivo General:

1. Aplicar las herramientas de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) para la mapificación del grado de fertilidad de los suelos del cantón Las Lajas.

Objetivos específicos:

1. Determinar el grado fertilidad de los suelos mediante análisis de textura, pH, carbono orgánico, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ y Na^+ cambiables, N, P, K, y complementariamente Fe, Cu, Zn, Mn.

2. Elaborar los mapas de fertilidad, textura, pH, carbono orgánico, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ y Na^+ cambiables, N, P, K, Fe, Cu, Zn, Mn, del cantón Las Lajas.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 EL SUELO

El suelo se lo define, de acuerdo a la Sociedad Americana de la Ciencia del Suelo, como el material mineral no consolidado de superficie terrestre, sometido a muchos factores tanto hereditarios como ambientales: material parental, clima, topografía, macro y microorganismos, actuando durante un determinado periodo de tiempo. El suelo juega un papel ambiental de suma importancia, ya que puede considerarse como un reactor bio-físico-químico en donde se descompone material orgánico (1).

Sánchez (2007) define al Suelo como un ente natural, tridimensional, trifásico, dinámico, sobre el cual crecen y se desarrollan la mayoría de las plantas.

Es un ente, porque tiene vida; tridimensional, porque es visto a lo largo, ancho y profundidad; trifásico, porque existe fase sólida, líquida y gaseosa; dinámico, porque dentro del suelo ocurren procesos que involucran cambios físicos y reacciones químicas constantemente. Además es el medio natural donde crecen las plantas, por tanto sirve como soporte.

Desde el punto de vista agrícola, el suelo es la capa de material fértil que recubre la superficie de la Tierra y que es tomada por las raíces de las plantas y a partir de la cual obtienen sostén, nutrimentos y agua (2).

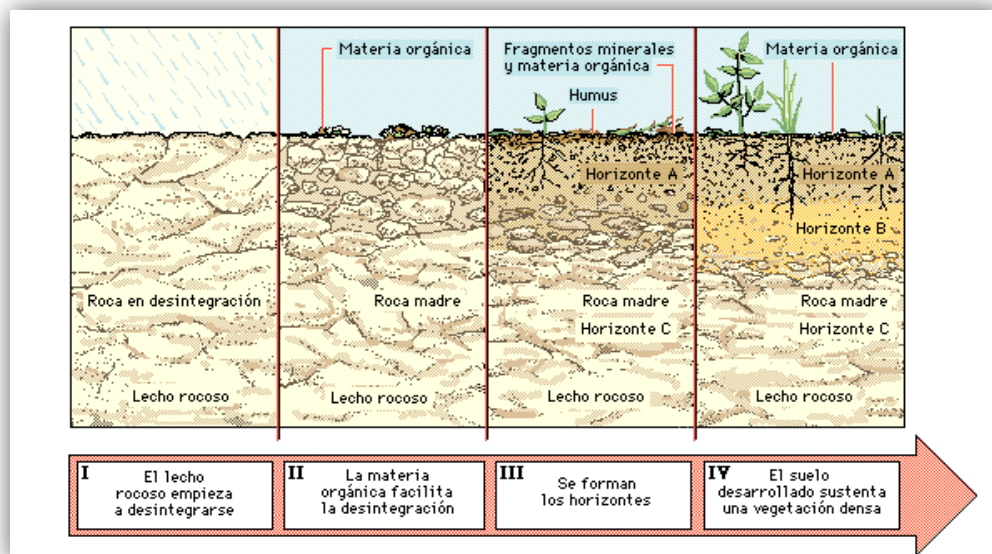


Figura 1. Etapas de la formación del suelo (3).

1 <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/448/9.pdf>

2 http://www.semarnat.gob.mx/informacionambiental/Documents/pdf/cap_3_suelos.pdf

3 <http://elsueloequipo4.blogspot.com/2009/02/etapas-de-la-formacion-del-suelo.html>

2.2 COMPONENTES DEL SUELO

El suelo es un complejo de cuatro componentes. La suma de cada componente altera de un suelo a otro. El promedio de cada componente del suelo es: 45% de minerales (arcilla, arena y limo), 25% de aire, 25% de agua y 5% de materia orgánica (4).

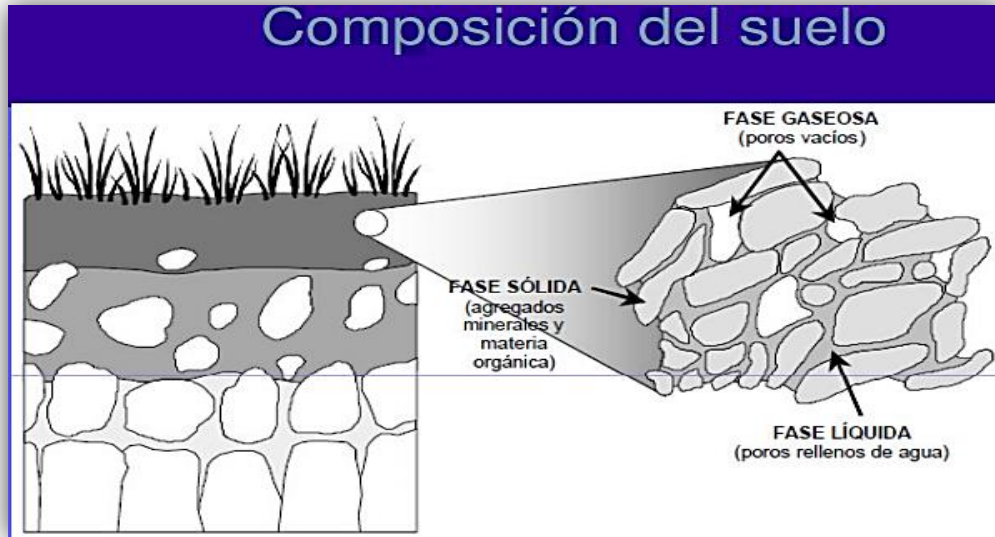


Figura 2. Esquema de las fases del suelo (5).

2.3 PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO

2.3.1 TEXTURA DEL SUELO

Sánchez (2007) especifica que la textura es la proporción de arena, limo y arcilla expresados en porcentaje (%). En la parte mineral del suelo, los más útiles y de interés edafológico solamente las partículas menores de 2 mm de diámetro, de tal manera que la suma de estas tres porciones dé el 100%, originando la clase textural de dicho suelo.

$$\% \text{ arena} + \% \text{ limo} + \% \text{ arcilla} = 100\%$$

Para la clasificación de las partículas minerales existen varios sistemas de acuerdo a su tamaño. El más definido y aceptado es el sistema USDA, se lo utiliza en los Laboratorios de suelos para determinar esta característica que tienen los suelos y que agrupa a las partículas de la siguiente manera:

Arena muy gruesa	1.00 - 2.00 mm
Arena gruesa	0.50 - 1.00 mm

Arena media	0.25 - 0.50 mm
Arena fina	0.10 - 0.25 mm
Arena muy fina	0.05 - 0.10 mm
Limo	0.002-0.05 mm
Arcilla	< 0.002 mm

Una clase textural, es el nombre con que se designa a un suelo de acuerdo a la fracción o fracciones predominantes. El sistema contempla 12 clases texturales tal como se lo muestra en la Figura 3, originando los porcentajes (%) de cada clase.

Arena	Arena franca	Franco arcillo limoso
Limo	Franco arenoso	Franco arcillo arenoso
Arcilla	Franco arcilloso	Arcillo limoso
Franco	Franco limoso	Arcillo arenoso

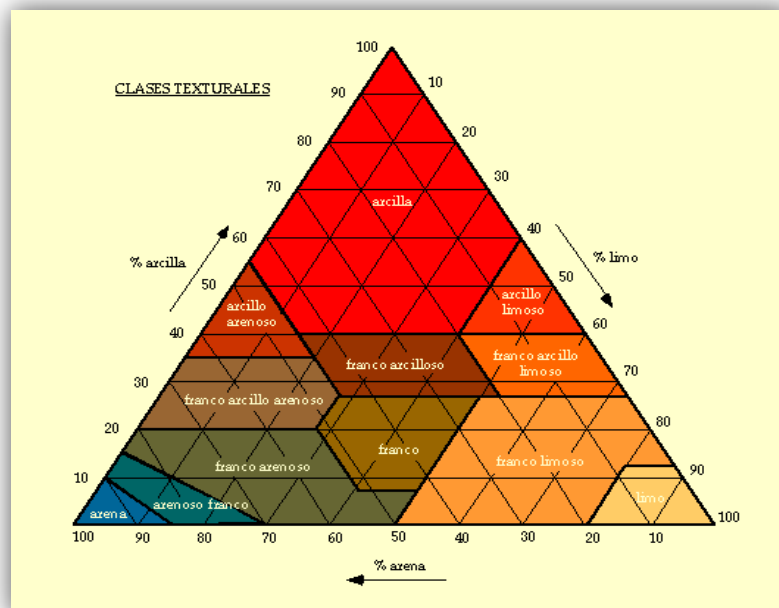


Figura 3. Triángulo de texturas (6).

2.3.1.1 Textura arcillosa

Son suelos flexibles y difíciles de trabajar, tienen la característica de retener gran cantidad de agua y nutrientes debido a la gran cantidad de poros microscópicos y a su elevada capacidad de intercambio catiónico. Aunque retengan mucha agua presentan una permeabilidad baja, salvo que estén bien estructurados y formen un buen sistema de grietas (7).

6 <http://edafologia.ugr.es/introeda/tema04/text.htm>
7 <http://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/7775/Textura.pdf>

2.3.1.2 Textura arenosa

Se diferencia a la arcillosa, pues cuando existe arena en la superficie los suelos se conocen como ligeros, dada su escasa plasticidad y facilidad de trabajo. Presenta una excelente aireación debido a que las partículas dominantes de gran tamaño facilitan la penetración del aire. Únicamente cuando se producen lluvias intensas se puede producir encharcamiento o escorrentía, momento en el que la erosión laminar es muy importante. La acumulación de materia orgánica es mínima y el lavado de los elementos minerales es alto.

2.3.1.3 Textura limosa

Están privadas de poseer propiedades coloidales formadoras de estructura, formando suelos que se comprimen con facilidad impidiendo la aireación y la circulación del agua. Es fácil la formación de capas superficiales que impiden la emergencia de las plántulas.

2.3.1.4 Textura franca

Poseen una mayor proporción entre sus componentes, gozan de los efectos favorables de las anteriores sin sufrir sus defectos, el estado ideal sería la textura franca y a medida que nos desviamos de ella se van mostrando los inconvenientes derivados (7).

2.3.2 LA ESTRUCTURA DEL SUELO

“La estructura del suelo es la forma de agregación natural de las partículas del suelo, para formar unidades de mayor tamaño con carácter más persistente.

Estas unidades se denominan agregados, su formación se debe a la presencia de cargas eléctricas en la superficie de las arcillas, lo que da como resultado unas interacciones físico-químicas con los demás componentes del suelo” (8).

2.3.2.1 Según el grado de desarrollo de los agregados

- a) Fuerte: agregados duros, con separación bien definida cuando el suelo se seca.
- b) Moderada: agregados relativamente bien formados y diferenciados, de duración media.
- c) Débil: agregados poco diferenciados, que sólo se distinguen cuando el suelo está húmedo.
- d) Sin estructura: agregados que no se distinguen por falta de aglomeración, como ocurre en los suelos (8).

7 <http://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/7775/Textura.pdf>

8 http://www.educarm.es/templates/portal/ficheros/websDinamicas/20/suelos_tema_2..pdf

2.3.2.2 Según la forma de los agregados:

a) Laminar: Agregados de forma aplanada, con preeminencia de dimensión horizontal, las raíces y el aire penetran difícilmente.

b) En bloques: Angulares o subangulares. Agregados con forma de bloque, sin predominio de ninguna dimensión.

c) Prismática: Como su nombre lo indica los agregados tienen forma de prisma, de mayor altura que anchura. Es típico de suelos con mucha arcilla.

d) Columnar: Parecido a la estructura prismática, pero con la base redondeada. Ésta estructura es típica de suelos envejecidos.

e) Granular: Agregados con esferas imperfectas, con tamaño de 1 a 10 mm de grosor. Es la estructura más ventajosa, al permitir la circulación de agua y aire (8).

Cuadro 1. Propiedades del suelo según su textura.

Propiedad	Suelo arenoso	Suelo arcilloso	Suelo franco
Permeabilidad	Alta	Nula	Media
Capacidad de retención de agua	Poco	Mucho	Medio
Aireación	Buena	Mala	Buena
Nutrientes	Pocos	Muchos	Medio-alto
Tamaño de las partículas	Media	Muy fina	Finas

2.3.3 POROSIDAD DEL SUELO

Rucks *et al* (2004) afirman que la porosidad, se expresa como el porcentaje (%) del volumen del suelo ocupado por poros, la porosidad total se determina directamente, en muestras de suelo sin alteración, es decir tal como están en el campo, sin ninguna deformación que altere la ubicación de las partículas sólidas, y por lo tanto los espacios que dejan entre ellas. El procedimiento es el siguiente:

a) Determinar exactamente el volumen de las muestras, esto se logra estando el suelo en un contenido de humedad en el que las arcillas estén completamente expandidas. En general se emplean anillos o cilindros con filo en su parte inferior. La obtención de muestras es relativamente fácil cuando en el suelo no hay raíces ni piedras.

b) Se saturan las muestras totalmente de agua, es decir se llena completamente el espacio poroso con agua. Si no se hubieran tomado las muestras con los coloides totalmente expandidos, al saturarlas se podría producir expansión y por lo tanto cambio de volumen.

c) Se determina el peso de la muestra saturada de agua.

d) Se seca la muestra en estufa a 105° C y se determina su peso seco.

e) Por diferencia entre el peso saturado y el peso seco, se conoce la cantidad de agua que ocupaba el espacio poroso de la muestra. Esta cantidad está expresada en unidades de peso, y suponiendo que la densidad del agua permanece incambiada igual a uno, un gramo de agua es igual a un cm³ de agua.

Por lo tanto la diferencia entre los pesos saturado y seco de las muestras es igual a los cm³ de porosidad total que poseen.

f) Se expresa el volumen de porosidad total como porcentaje del volumen de las muestras sin alteración, y de esta manera, se obtienen los porcentajes de los volúmenes de las muestras ocupados por poros.

2.3.4 DENSIDAD APARENTE Y DENSIDAD REAL

Sánchez (2007) dice que la composición mineral es más o menos constante en la mayoría de los suelos, por tanto se estima que la DR varía entre 2.6 a 2.7g/cc para todos los suelos.

En tanto que la DA depende del grado de soltura o porosidad del suelo, es un valor más variable que depende además de la textura, el contenido de materia orgánica y la estructura.

La densidad aparente (DA) y la densidad real (DR) se expresan así:

$$DA = Ms/Vt$$

$$DR = Ms/Vs$$

Dónde:

Ms = masa o peso de sólidos

Vt = volumen total

Ms = volumen de sólidos

Vs = volumen de sólidos

La densidad real DR, mide el grado de compactación de un determinado suelo cuando éste ha sido sometido a trabajos constantes de maquinaria pesada sobre la capa arable, pudiendo mostrarse esa compactación en esa misma capa o en la subyacente.

Cuadro 2. Porcentaje de porosidad según la densidad aparente de diferentes clases texturales.

Clase Textural	Densidad Aparente	%Porosidad
Arenoso	1.6 - 1.8	30 – 35
Franco arenoso	1.4 - 1.3	35 – 40
Franco	1.3 - 1.4	40 – 45
Franco limoso	1.2 - 1.3	45 - 50
Arcilloso	1.0 - 1.2	50 - 60

Fuente: Fertilidad del suelo y nutrición mineral de plantas, conceptos básicos Sánchez (2007).

2.3.5 CONSISTENCIA DEL SUELO

Rucks *et al* (2004) consideran a la consistencia del suelo se la define como el término que designa las manifestaciones de las fuerzas físicas de cohesión y adhesión, que ejercen dentro del suelo a diferentes contenidos de humedad. Estas expresiones incluyen:

- a) El comportamiento con respecto a la gravedad, presión y tensión.
- b) La tendencia de la masa del suelo de adhesión a cuerpos extraños o sustancias.
- c) Las sensaciones que son evidenciadas y sentidas por los dedos del observador.

Esta definición implica que el concepto de consistencia del suelo incluye algunas propiedades del suelo, como resistencia a la compresión, friabilidad, plasticidad, viscosidad. Al observador de campo estas propiedades son expresadas a través de los sentidos.

Observaciones de campo e investigaciones experimentales indican que la consistencia del suelo varía con textura, materia orgánica, el total de materia coloidal, estructura (en cierto grado) y contenido de humedad.

2.3.5.1 Caracterización de la plasticidad del suelo

Atterberg realizó estudios de la plasticidad a través del rango de humedad en el cual se manifiesta la plasticidad. Es decir el rango de humedad que va desde que el suelo comienza a ponerse plástico hasta que se hace viscoso. Manifestando si el suelo proporciona condiciones de humedad apropiadas para medir esta característica (Rucks, L et al 2004).

2.3.5.2 Valores de la plasticidad

a) Límite superior de plasticidad, (límite líquido) o sea el contenido de humedad al cual el suelo fluirá muy poco al aplicarle una fuerza. También se define como el contenido de humedad en el que el suelo pasa de plástico a viscoso.

b) Límite inferior de plasticidad, (límite Plástico) o sea el contenido de humedad al cual el suelo puede ser escasamente arrollado en forma de fideo. (Aproximadamente 3 mm de espesor). También se define como el contenido de humedad en el que el suelo pasa de friable a plástico.

c) Número de plasticidad, o sea la diferencia entre el límite superior y el límite inferior. El número de plasticidad se toma como un índice de plasticidad.

2.3.5.3 Significado de los límites de Atterberg

El límite inferior de plasticidad representa el contenido de humedad en el cual hay un cambio de consistencia de friable a plástico. La orientación de las partículas y su deslizamiento unas sobre otras se produce en este punto puesto que hay suficiente agua para formar un «film» alrededor de cada partícula.

El límite superior de plasticidad significa el contenido de humedad al cual los «films» de agua se vuelven tan gruesos que la cohesión disminuye y la masa de suelo fluye bajo la aplicación de una fuerza.

El número de plasticidad es una medida indirecta de la tensión de los «films», esto es de la fuerza requerida para moldear el suelo. El número de plasticidad es proporcional a las diferencias de las tensiones del límite superior e inferior de plasticidad.

2.3.6 COLOR DEL SUELO

Rucks *et al* (2004) manifiesta que el color es un carácter del suelo, fácil de observar y de uso cómodo para identificar un tipo de suelo dentro del cuadro regional o local.

Generalmente está en relación con los procesos de pedogénesis o con uno de los factores de formación. Pero, por una parte, el proceso que colorea el suelo no es siempre fundamental, y por otra parte, la misma coloración, o matices vecinos bien pueden resultar de causas diferentes. Es así que ese carácter debe ser utilizado con circunspección y sabiendo que raramente tiene valor como criterio de clasificación al nivel de los grandes tipos de suelos.

Jordán (2006) expresa que la determinación del color se realiza de manera visual mediante el sistema Munsell. El color de una muestra de suelo se compara con muestras de color estándar, de manera que pueden identificarse tres parámetros:

a) Matiz: La notación del matiz (H, del inglés hue)) de un color indica su posición relativa en una escala de 100 matices de color distintos. La notación está basada en 10 clases principales: rojo (5R), rojo amarillento (5YR), amarillo (5Y), amarillo verdoso (5GY), verde (5G), verde azulado (5BG), azul (5B), azul purpúreo (5PB), púrpura (5P) y púrpura rojizo (5RP).

b) Brillo: La notación del brillo (V, del inglés value) indica la luminosidad u oscuridad de un color en relación con una escala neutra de grises, que va desde el negro absoluto (0/) hasta el blanco absoluto (10/).

c) Intensidad: La notación de la intensidad (C, del inglés chroma) indica el grado de alejamiento de un determinado matiz de color respecto a un gris neutral (5/) con el mismo brillo. La escala de la intensidad va desde /0 (gris neutro) hasta /10, /12, /14 o más, dependiendo de la muestra que se evalúe.

2.4 PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO

Huerta (2010) afirma que la química de suelos es la ciencia que estudia las propiedades químicas del suelo y de sus componentes inorgánicos y orgánicos, así como los fenómenos a que da lugar la mezcla de esos componentes.

2.4.1 pH DEL SUELO

Buckman y Brady (1966) mencionan que una de las características más importantes del suelo es su reacción, ésta ha sido debidamente reconocida debido a que los microorganismos y plantas superiores responden notablemente tanto a su medio químico, como a la reacción del suelo y los factores asociados con ella.

Tres condiciones son posibles: acidez, neutralidad, y alcalinidad, los rangos fluctúan desde 0, 7 y 14 respectivamente en la escala de pH, las lecturas pueden ser utilizando electrodos sumergidos en la solución acuosa.

Por lo general la acidez del suelo es común en todas las regiones donde la precipitación es alta, lo que ocasiona la lixiviación de grandes cantidades de bases intercambiables de los niveles superficiales de los suelos; En este caso, la solución del suelo contiene más iones hidrógeno (H^+) que oxidrilos (OH^-). Los suelos alcalinos son característicos de las regiones áridas y semiáridas; la alcalinidad se presenta cuando existe un alto grado de saturación de bases. La presencia de sales especialmente de calcio, magnesio y sodio en formas de carbonatos da también preponderancia a los iones (OH^-) sobre los iones (H^+) en la solución del suelo.

Existen dos grupos de factores que provocan cambios en el pH del suelo:

- a) Los que resultan del aumento del hidrógeno adsorbido; y
- b) Los que aumentan el contenido de bases adsorbidas.

Uno de los factores que provocan la acidez en el suelo es la descomposición de la materia orgánica ya que se forman ácidos tanto orgánicos como inorgánicos; el ácido orgánico que se encuentra con mayor frecuencia es el ácido carbónico (CO_3H_2).

Éste ácido remueve grandes cantidades de bases por disolución o lixiviación. Los ácidos inorgánicos, tales como ácido sulfúrico (H_2SO_4) y el ácido nítrico (HNO_3), son reservorios importantes de iones H en el suelo.

Cualquier proceso que pueda aumentar el contenido de bases intercambiables como el Ca, Mg, K y Na, contribuirá a la reducción de la acidez y aumento de la alcalinidad. Uno de los procesos de formación de bases es el intemperismo ya que extraen cationes cambiables de los minerales y los hacen aprovechables por adsorción.

Otro proceso es la adición de materiales que contienen bases tales como las calizas; las aguas de riego son otro factor ya que el agua contiene sales minerales de diferente tipo, siendo sus cationes adsorbidos por los coloides del suelo. Las condiciones que permiten a las bases intercambiables permanecer en el suelo aumentarán también los valores de pH.

Porta *et al* (2003) señalan que de acuerdo a los valores de pH la clasificación de suelos puede variar, sin embargo, de manera general se dice que un suelo es fuertemente ácido si su pH es menor que 5.0; moderadamente ácido, si el suelo tiene un pH que varía de 5.0 a 6.0; ligeramente ácido cuando el suelo tiene un pH menor que 7.0 pero generalmente más que 6.0; neutro debido a que tiene un pH de aproximadamente 7.0; básico cuando el suelo tiene un pH mayor a 7.0 y alcalino cuando el pH es mayor a 8.5 cuando esto sucede indica la presencia de sodio.

2.4.2 CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO (CIC)

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) es la capacidad que tiene un suelo para retener y liberar iones positivos, merced a su contenido en arcillas. Éstas están cargadas negativamente, por lo que suelos con mayores concentraciones de arcillas exhiben capacidades de intercambio catiónico mayores. Generalmente se expresa en términos de miligramos equivalentes de hidrógeno por 100 g de coloide, cuya denominación abreviada es mili equivalente por 100 gramos o meq/100 g. Por definición, se convierte en el peso de un elemento que desplaza un peso atómico de hidrógeno (9).

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 (9).

2.4.3 MATERIA ORGÁNICA (MO)

Corbella y Fernández (2009) exponen que la materia orgánica es considerada como una mezcla compleja y variada de sustancias orgánicas, desempeña un importante papel en los suelos agrícolas. A pesar de que la misma constituye solo una pequeña fracción de la mayoría de los suelos, es un componente dinámico que ejerce una influencia dominante en muchas propiedades y procesos del suelo. Frecuentemente un efecto lleva a otro, de modo que de la adición de materia orgánica a los suelos, resulta una cadena compleja de múltiples beneficios.

La cantidad de materia orgánica (MO), está ligada a la cantidad, tipo y actividad microbiana. De este modo el mantenimiento de la “fertilidad biológica” sugiere inalterabilidad del ambiente sobre todo la parte microbiológica del suelo.



Figura 4. Proceso de desintegración de la Materia Orgánica del suelo.

Fuente: Materia orgánica del suelo cátedra de Edafología Facultad de Agronomía y Zootecnia Universidad Nacional de Tucumán, Corbella y Fernández (2009)

En términos medios, la MO del suelo presenta la siguiente composición:

a) Por su composición elemental.

Carbono (C) 50 %

Oxígeno (O) 40 %

Nitrógeno (N) 5 %

Hidrógeno (H) 5 %

b) Por los compuestos que la forman.

Sustancias húmicas 60-90 %

Sustancias no humificadas 10-40 % (10).

2.4.3.1 Proceso de descomposición y mineralización de los residuos orgánicos.

Los residuos orgánicos añadidos al suelo son primeramente particionados y separados en sus componentes orgánicos básicos por acción mecánica de la mesofauna, este proceso se llama descomposición.

La mineralización consiste en la transformación de un elemento desde la forma orgánica a una inorgánica, por actividad de los microorganismos. El proceso de descomposición y mineralización de restos orgánicos, es un proceso exotérmico. La descomposición y mineralización libera 4-5 calorías por gramo de material. Como resultado de estos procesos en el suelo se producen 5 fracciones de diferente estabilidad biológica:

a) Residuos carbonados de bajo peso molecular.

b) Residuos precursores del humus.

c) Lignina y productos resistentes.

d) Biomasa del suelo (incluyendo células y productos de síntesis microbiana).

e) Material orgánico sorbido sobre los coloides del suelo (10).

2.4.3.2 Humificación biológica y abiológica.

a) humificación biológica: la mayor parte de los procesos de resíntesis de sustancias húmicas en el suelo tiene lugar por la actividad de la microflora y sus enzimas. Este es el caso de la mayoría de los suelos agrícolas y de pastoreo, donde el humus resultante es de alto grado

de polimerización, de color oscuro, no muy ácido, con adecuada saturación de bases, buen contenido de N (relación C/N de 14 o inferior) y baja solubilidad.

b) humificación abiológica: de muy baja proporción en suelos, tiene su expresión más pura en las turberas ácidas, pero predomina en los suelos podzólicos. Los procesos de polimerización a partir de los precursores proceden sin intervención de microorganismos. Las sustancias húmicas formadas en ese medio son muy ácidas, de muy escasa saturación de bases, bajo contenido de N (relación C/N de 15 a 30), de peso molecular relativamente bajo y en consecuencia más soluble. La combinación de los compuestos húmicos con material inorgánico es muy escasa. La humificación abiológica es considerablemente más lenta que la biológica (10).

2.4.3.3 Factores que influyen en la humificación.

Los factores que influyen en el sentido e intensidad del proceso de humificación pueden clasificarse en internos y externos. Estos factores afectan la actividad biológica y los procesos físico-químicos que condicionan la humificación biológica y abiológica.

Los factores internos se refieren a la naturaleza de los residuos que se incorporan: proporción y naturaleza de los glúcidos, ligninas, taninos, proteínas.

Los factores externos son los referentes al medio, el suelo y las condiciones climáticas.

a) Aireación: Se considera óptimo un medio suficientemente aireado pero con alternancia de períodos cortos y poco pronunciados de anaerobiosis. Al comienzo de la descomposición de la materia orgánica, las condiciones semi-aeróbicas favorecen la oxidación de los glúcidos, ácidos orgánicos y taninos; que contribuyen a la elevación de la temperatura y la acidez. Si el medio es excesivamente anaeróbico, disminuye la velocidad del proceso favoreciendo la presencia de productos residuales a expensas de la formación de humus.

b) Humedad: La humedad es indispensable para el proceso de humificación pero su exceso redundaría en perjuicio de la aireación, con las consecuencias antes señaladas. La alternancia de humedad tiende a favorecer el enriquecimiento en humus.

c) Temperatura: En general las temperaturas medias del suelo, con adecuada humedad, aumentan la acumulación de humus. Un aumento de temperatura, acelera la mineralización y disminuye la síntesis de humus (10).

d) Acidez: Un pH cercano al neutro, con suficiente cantidad de alcalinotérreos favorece la acumulación de humus. Aumenta con la presencia de material arcilloso silicatado, debido a la formación de los complejos húmico-arcillosos (10).

2.5 CARBONO ORGÁNICO TOTAL DEL SUELO

El carbono orgánico es uno de los principales componentes de los seres vivos: aproximadamente 50% del peso seco de la materia orgánica (MO) es carbono. En el medio ambiente su ciclo está estrechamente ligado al flujo de energía, debido a que las principales reservas de energía de los organismos son compuestos de carbono reducidos que han derivado de la fijación del CO₂ atmosférico, ya sea por medio de la fotosíntesis o, con menor frecuencia de la quimiosíntesis.

Las plantas y los animales que mueren son desintegrados por los microorganismos, en particular bacterias y hongos, los cuales regresan el carbono al medio en forma de bióxido de carbono.

La M.O. del suelo es la fracción orgánica que incluye residuos vegetales y animales en diferentes estados de descomposición; tejidos y células de organismos que viven en el suelo; y sustancias producidas y vertidas por esos organismos. Esta definición es muy amplia pues incluye tanto a los materiales poco alterados como a aquellos que sí han experimentado cambios de descomposición, transformación y resíntesis dentro del suelo. Además se pueden incluir compuestos orgánicos tóxicos, provenientes de las actividades industriales del hombre, como la contaminación de suelos por hidrocarburos del petróleo, que también constituye parte de la materia orgánica del suelo (11).

2.6 NUTRIMENTOS DEL SUELO

Los elementos esenciales que se encuentran en el suelo para el desarrollo de las plantas son los siguientes:

a) Macronutrientes C-H-O-N-P-K-Ca-Mg-S, se requieren en grandes cantidades.

b) Micronutrientes Fe-Mn-B-Mo-Cu-Zn-Cl, se requieren en pequeñas cantidades. Su insuficiencia da lugar a una carencia, y su exceso a una toxicidad (12).

10 <ftp://ftp.at.fcen.uba.ar/maestria/SUELOS/MaterialDeLectura/MAT-ORG.pdf>

11 <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/509/analisis.pdf>

12 <http://edafologia.fcien.edu.uy/archivos/Nutrientes%20del%20suelo.pdf>

2.7 LA FERTILIDAD DEL SUELO

La fertilidad del suelo puede ser definida como la capacidad del suelo para suministrar a las plantas agua y nutrientes esenciales para su crecimiento y desarrollo.

Los factores que determinan la fertilidad se pueden clasificar en:

a) Físicos, que condicionan el desarrollo del sistema radicular, y su aporte hídrico. La fertilidad física se identifica por: textura, estructura, porosidad, aireación, capacidad de retención hídrica, estabilidad de agregados, etc.

b) Químicos, que hace referencia a la reserva de nutrientes y su aporte a las plantas. Se caracteriza por: capacidad de cambio de cationes, pH, materia orgánica, macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S) y micronutrientes (B, Fe, Mo, Mn, Zn, Cu, Na y Cl), y sus formas químicas en el suelo que condicionan su biodisponibilidad.

c) Biológicos, determinados por la actividad de los microorganismos del suelo. La microflora del suelo utiliza la materia orgánica como sustrato y fuente de energía, interviniendo en la producción de enzimas, ciclo de C y de N, transformaciones biológicas de nutrientes y procesos de humificación y mineralización (13).

Sánchez (2007) afirma que la fertilidad del suelo es una cualidad resultante de la interacción entre las características físicas, químicas y biológicas del mismo y que consiste en la capacidad de poder suministrar condiciones necesarias para el crecimiento y desarrollo de las plantas.

En lo referente al suministro de condiciones óptimas para el asentamiento de las plantas, estas características no actúan independientemente, sino en armónica interrelación, que en conjunto determinan la fertilidad del suelo.

Por ejemplo, un suelo puede estar provisto de suficientes elementos minerales -fertilidad química- pero que no está provisto de buenas condiciones físicas y viceversa.

Igualmente, la fertilidad del suelo no es suficiente para el crecimiento de las plantas; el clima juega un papel importante y determinante en muchos casos.

Se puede tener un suelo fértil y que dadas las temperaturas extremas no es capaz de producir buenas cosechas, entonces en un suelo fértil, no productivo, La fertilidad va de la mano tanto con las condiciones físicas del suelo como también de las condiciones ambientales.

2.8 MÉTODO PARA EVALUAR LA FERTILIDAD DEL SUELO

2.8.1 ANÁLISIS QUÍMICO DEL SUELO

Su objetivo es medir las cantidades de nutrientes del suelo que se encuentran fácilmente aprovechables para las plantas, se utilizan para:

a) Agrupar los suelos en clases y hacer las sugerencias sobre necesidades de cal y/o fertilizantes, manejar el pH y utilizar un fertilizante según los resultados del análisis.

b) Predecir posibles resultados beneficiosos mediante la aplicación de fertilizantes al suelo, incentivar al productor con un correcto rendimiento del suelo.

c) Ayudar a evaluar la productividad del suelo.

d) Determinar las condiciones específicas del suelo que pueden ser mejoradas mediante aplicación de enmiendas y prácticas de cultivo (14).

2.9 NITRÓGENO EN EL SUELO

Iñiguez (2007) indica que el nitrógeno que se halla en el suelo, se clasifica en orgánico e inorgánico.

2.9.1 NITRÓGENO ORGÁNICO

Se encuentra formando parte de la MO procedente de organismos vegetales y animales, representa la casi totalidad del nitrógeno del suelo (97- 98%), pero para ser utilizado por los cultivares, es necesario que se transforme previamente a nitrógeno inorgánico, mediante un proceso de tipo bioquímico. Este proceso se llama mineralización, se produce a medida que los microorganismos descomponen la MO para obtener su energía. A medida que la MO es descompuesta, los organismos utilizan parte de la energía liberada más parte de los nutrimentos esenciales que se encuentran en dicha MO. Una vez que los organismos han utilizado todos los nutrimentos que necesitan, el exceso de nitrógenos es liberado al suelo para el crecimiento de las plantas. Las formas orgánicas de nitrógeno del suelo, son aminoácidos y proteínas consolidadas, aminoácidos libres y aminoazúcares, y otros complejos, generalmente compuestos no identificados. Este último grupo se cree que incluye materiales que resultan de la reacción del amino con la lignina, de la polimerización de quinonas y compuestos nitrogenados; y, la condensación de azúcares y aminas.

2.9.2 NITRÓGENO INORGÁNICO

Las formas inorgánicas del nitrógeno del suelo incluyen: NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , N_2O , NO y N_2 que es solamente utilizado por Rhizobium. Desde el punto de vista de fertilidad del suelo, las formas: NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- son de mayor importancia, y N_2O , NO y N_2 son de interés en un camino negativo, porque estas formas gaseosas se pierden por volatilización a través de la desnitrificación. El ión NH_4^+ , se encuentra adsorbido por los coloides del suelo y una pequeña proporción disuelta en el agua del suelo. Los iones NO_2^- y NO_3^- se encuentran libres en la solución suelo, por lo que son fácilmente absorbidos por las plantas (Iñiguez, 2007).

2.10 FÓSFORO EN EL SUELO

Desde el punto de vista del material que aporta el nutriente, separaremos al fósforo del suelo en dos grandes formas: fósforo orgánico y fósforo inorgánico.

2.10.1 FÓSFORO ORGÁNICO

La principal fuente está constituida por los residuos vegetales y animales que se adicionan al suelo. Los compuestos fosfatados más importantes de la materia orgánica son nucleoproteínas, fosfolípidos y fosfoazúcares.

La mineralización de la materia orgánica es lenta y por vía microbiana, requiriendo temperaturas de aproximadamente 25 a 30 °C, pH neutro y humedad cercana a capacidad de campo. El proceso de mineralización está regido por la relación C/P de la materia orgánica, cuyo valor crítico es aproximadamente 200. Por encima de este valor se produce depresión del fosfato inorgánico fenómeno similar al de la depresión de los nitratos (15).

2.10.2 FÓSFORO INORGÁNICO

Desde el punto de vista edafológico interesa clasificarlo de acuerdo a su disponibilidad mediata o inmediata para las plantas en: fósforo soluble, intercambiable e insoluble.

2.10.2.1 Fósforo soluble

Son las formas aprovechables para las plantas en forma inmediata, es decir son fosfatos en la solución del suelo. Su concentración es muy débil y fluctúa entre 0,2 y 0,5 mg/lit, o sea 200 a 400 gr/ha en 30 centímetros de espesor. En suelos muy ricos la concentración puede llegar hasta 1 mg/lit (1 ppm) y en suelos pobres a 0,1 mg/lit. Para que los cultivos se abastezcan

convenientemente es necesario que ocurra una renovación del fósforo en solución. El equilibrio entre las distintas formas fosfatadas es lo que asegura la nutrición de los vegetales. Las formas solubles de fósforo en el suelo son los fosfatos diácidos (H_2PO_4^-) y monoácidos (HPO_4^{2-}). La concentración de los iones fosfatos en solución está relacionada con el pH de la misma. El ion H_2PO_4^- es favorecido por los pH bajos, mientras que el ion HPO_4^{2-} por los pH más altos (15).

2.10.2.2 Fósforo intercambiable

Es también llamado fósforo lábil o adsorbido, y su disponibilidad es más lenta que el anterior. La adsorción de fosfatos, como en general toda adsorción aniónica en el suelo, es un fenómeno que depende del pH. A pH ácidos aumentan las cargas positivas de los coloides y por ende, aumenta la adsorción. Estos iones forman parte del enjambre de iones que rodean a las partículas coloidales y están en constante movimiento. Representan del 15 al 30% del fósforo inorgánico, lo que significa 800 a 2500 kg de P_2O_5 /ha. Este fósforo lábil puede estar adsorbido directamente por los bordes de las arcillas (cuando están tienen cargas positivas como la caolinita a bajos valores de pH), o por uniones que usan al calcio como puente (en las arcillas de tipo 2:1). También puede estar adsorbido por los óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio, que tienen un poder de fijación mucho mayor que el de las arcillas (15).

2.10.2.3 Fósforo insoluble

Forma parte de los minerales primarios y secundarios, y constituye la gran reserva de fósforo inorgánico en el suelo. La insolubilización se puede deber a la precipitación como fosfatos cálcicos en medio alcalino, o como fosfatos de hierro y aluminio en medio ácido. Tanto en suelos ácidos como alcalinos, el fósforo tiende a sufrir una cadena de reacciones que producen compuestos fosforados de baja solubilidad. Por lo tanto, durante el largo tiempo que el fósforo permanece en el suelo, las formas menos solubles, y por ende las menos disponibles para la planta, tienden a aumentar. Cuando se agrega fósforo soluble al suelo, usualmente ocurre una rápida reacción (de unas pocas horas) que remueve el fósforo de la solución (fija el fósforo). Lentas reacciones posteriores continúan gradualmente reduciendo la solubilidad durante meses o años, según la edad de los compuestos fosfatados. El fósforo recientemente fijado puede ser débilmente soluble y de algún valor para las plantas. Con el tiempo, la solubilidad del fósforo fijado tiende a decrecer a niveles extremadamente bajos. Este fenómeno se conoce como envejecimiento del fósforo (15).

2.11 POTASIO EN EL SUELO

Iñiguez (2007) describe que el potasio se encuentra en el suelo bajo las formas: inorgánico y orgánico.

2.11.1 POTASIO INORGÁNICO

El potasio inorgánico presente en el suelo es mayor al de cualquier otro nutrimento con valores de 1,5 a 2,0%, lo que equivale aproximadamente a cantidades de 45000 a 60000 kg/ha de K_2O . El potasio de los minerales silicatados es liberado en forma natural por edafización. Las rocas volcánicas son más ricas en potasio que las rocas sedimentarias, por lo que los suelos formados a partir de las primeras granito, contienen mayor cantidad de este nutrimento que aquellas otras formadas de las segundas caliza.

En la mayoría de los suelos arcillosos existen cantidades importantes de potasio, en tanto que en los suelos arenosos en los que predomina el cuarzo existe poco o nada de potasio.

2.11.2 POTASIO ORGÁNICO

Procede de la descomposición de los restos de plantas y animales y representan una pequeña parte de la cantidad total de potasio contenido en el suelo. Una parte del potasio orgánico se solubiliza en el agua del suelo inmediatamente, mientras que la parte restante requiere la acción de los microorganismos. Si bien es cierto que la mayoría de los suelos contienen miles de Kg de Potasio, solo una pequeñísima parte está disponible para las plantas, generalmente alrededor del 1%.

2.11.2.1 Potasio no disponible

La casi totalidad del potasio presente en el suelo, está en forma no disponible para las plantas, ya que se encuentran formando parte de las estructuras cristalinas de algunos minerales primarios como feldspatos y micas principalmente y minerales secundarios como arcillas tipo 2:1. Sin embargo bajo la acción de los procesos de edafización, se produce una lenta disponibilidad de K^+ que es asimilado por las plantas en pequeñísimas cantidades. De todas formas su acumulación constante en el suelo es importante para la provisión de K^+ . En esta liberación gradual tiene importante papel la presencia del agua carbonatada como disolvente.

2.11.2.2 Potasio lentamente disponible

El potasio generalmente se fija entre las unidades cristalinas de las arcillas silicatadas tipo 2:1 fundamentalmente montmorillonita e illita, proceso que ocurre con expansión al humedecerse

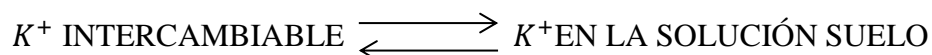
y contracción al secarse, por lo que no puede reemplazarse con las formas comunes de intercambio, y en consecuencia no se intercambia y difícilmente es disponible para la planta.

Sin embargo, esta forma de potasio fijado se encuentra en equilibrio con las formas disponibles, actuando como un depósito de potasio, lentamente disponible y adquiriendo importancia por su magnitud. La fijación se produce mayormente en suelos con buen contenido de potasio y bajo porcentaje de MO.

Cuando se ha enriquecido el suelo con la aplicación de fertilizantes potásicos, una parte del potasio de la solución suelo pasa a la fase cambiante, y como resultado del equilibrio que debe existir, algunos iones cambiantes se fijan, o sea, se convierten en la forma no cambiante. Pero esta fijación no es definitiva, el potasio temporalmente no disponible, vuelve progresivamente al estado disponible a medida que se da la absorción de los pelos radicales.

2.11.2.3 Potasio rápidamente disponible

Está constituido por el potasio intercambiable retenido en las arcillas y MO, más el potasio que se encuentra en la solución suelo. La concentración de K^+ en la solución suelo permanece constante, de tal manera que cuando la planta absorbe K^+ de la solución suelo disminuye su concentración, y el coloide arcillo-húmico libera rápidamente cierto número de K^+ , que pasan a la solución con el fin de mantener el equilibrio y se de una nutrición normal. Este equilibrio se presenta así:



Cuando se incorpora al suelo fertilizante potásico se solubiliza rápidamente y se incrementa el contenido de K^+ en la solución suelo. Para que se mantenga el equilibrio es preciso que el exceso de K^+ de la solución suelo sea absorbido por el coloide del suelo.

No debe concluirse que es necesario que el K^+ se encuentre en la solución suelo para ser absorbido por los pelos absorbentes de la planta, ya que la absorción puede ser directa de la superficie del coloide. Esto se explica en razón de que las paredes externas de las raíces son de naturaleza pecto-celulónica, comportándose como coloide electro negativo, cuya capacidad de intercambio varía con las especies e incluso con las variedades.

2.12 CALCIO EN EL SUELO

El calcio juega un papel fundamental en la estructura del suelo siendo el catión que predomina en el complejo del suelo que no sea ácido o que el aluminio sea el catión predominante.

Cuando se presenta un suelo ácido, la recuperación del mismo será resuelta mediante la práctica conocida como encalado, que consiste en una aplicación de enmienda cálcica que reduce la acidez del suelo al enriquecer el contenido de calcio intercambiable en la partícula coloidal (16).

La cantidad total de Ca en el suelo es variable.

- a) suelos áridos y calcáreos: niveles muy altos.
- b) suelos viejos de los trópicos: bajo nivel de Ca.
- c) suelos arcillosos contienen más Ca que los suelos arenosos.

Debido a que el Ca existe como un catión, este nutriente está gobernado por los fenómenos del intercambio catiónico al igual que los otros cationes, y se mantiene adherido como Ca^{++} intercambiable en la superficie de los coloides cargados negativamente (11).

2.12.1 FORMAS DE CALCIO EN EL SUELO

Calcio contenido en minerales o Ca estructural: Representa la fracción de calcio no intercambiable. (Calcita, plagioclasas).

- a) Complejos de calcio con el humus del suelo
- b) Calcio intercambiable: representa la fracción sorbida al complejo de cambio.
- c) Calcio en solución: se encuentra en pequeñas cantidades pero hay una rápida reposición a partir de la fase de cambio.

En muchos suelos la principal fuente de calcio para las planta es el Calcio intercambiable y el calcio de minerales fácilmente meteorizables como carbonatos (16).

2.12.2 FUENTES DE CALCIO EN EL SUELO

- a) Minerales primarios:

Feldespatos (plagioclasas: anortita),

Filosilicatos (epidoto),

Inosilicatos (Piroxenos: augita; anfíboles: hornblenda)

- b) Minerales secundarios:

Montmorillonita,

Illita; y

Vermiculita.

c) Formas carbonatadas

Calcita CaCO_3 .

Dolomita $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$.

d) Otras formas de calcio

Yeso $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Superfosfato simple $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)$ y;

Superfosfato triple $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$.

Generalmente el calcio es el catión dominante en el suelo, aun a valores de pH bajos (16).

Iñiguez (2007) expresa que el calcio a pesar de ser considerado como enmendador del suelo, tiene acción directa en el metabolismo de la planta. El pH influye en la disponibilidad de Ca^{++} y Mg^{++} . Al aumentar el pH hasta 8,2 se incrementa la cantidad de Ca^{++} y Mg^{++} asimilables. Sobre este valor se produce una reducción por el hecho que el Na^+ y K^+ sustituyen al Ca^{++} y al Mg^{++} que precipitan en forma de carbonatos. El Ca^{++} presente en el suelo proviene de tres fuentes:

a) Minerales: Los minerales que contienen calcio son: anortita, ausita, hornblenda, epidota, gabro, basalto, yeso y el más importante la calcita. Todos ellos edafizan con bastante facilidad, particularmente si están triturados finamente; y, suministran el calcio que poseen.

b) Sales Simples: Los Ca^{++} son ordinariamente los cationes dominantes en la solución suelo, no pueden considerarse como unidos a cualquier catión particular, aunque los dos principales con los que se equilibran son NO_3^- y CO_3H . El yeso suministra Ca^{++} y se usa cuando el pH del suelo numéricamente es mayor a 8.5. Así mismo los fosfatos proporcionan buenas cantidades de calcio.

c) Calcio Cambiable: Constituye la mayor parte del Ca^{++} en suelos fértiles. Sin embargo no todo es utilizado por la planta. Las arcillas del grupo smectitas saturadas con Ca^{++} lo liberan con dificultad creciente a medida que van saturando progresivamente. Las arcillas del grupo micas hidratadas lo manifiestan menos enérgicamente. Las arcillas del grupo caolinita y MO mucho menos enérgicamente.

2.13 MAGNESIO EN EL SUELO

Proviene de minerales como biotita, hornablenda, dolomita y clorita. Está sujeto a intercambio catiónico, se encuentra en la solución del suelo y se absorbe en las superficies de las arcillas y la materia orgánica. Los suelos generalmente contienen menos Mg que Ca debido a que el Mg no es absorbido tan fuertemente como el Ca por los coloides del suelo y puede perderse más fácilmente por lixiviación (11).

Cuadro 3. Fuentes de magnesio en el suelo

MATERIAL CONTENIDO DE Mg	(%)
Dolomita (carbonato de Ca y Mg)	3 - 12
Oxido de Mg	55-60
Escorias básicas	3
Sulfato de magnesio	9 - 20
Sulfato de potasio y magnesio	11
Cloruro de magnesio	7.5

Iñiguez (2007) manifiesta que el magnesio total de los suelos es variable, existen contenidos mínimos en los suelos arenosos de regiones húmedas, hasta valores de consideración en suelos de textura fina, áridos o semiáridos. El magnesio presente en el suelo proviene de tres fuentes:

a) Minerales: Como: silicatos, que son abundantes, insolubles, que pasan a formas solubles muy lentamente en razón de la acción de los agentes atmosféricos, pertenecen a este grupo: biotita, clorita, turmalina, olivino, serpentina, talco, augita y hornblenda. Carbonatos y sulfatos, como dolomita y epsomita que una vez que se edafizan dan suelos muy ricos en magnesio. Arcillas, como illita y montmorillonita en las que el magnesio sustituye el aluminio en los empaquetamientos estructurales.

b) Formas solubles en agua: Las principales formas solubles provienen de cloruros, nitratos y sulfatos de magnesio; y,

c) Magnesio cambiabile: Generalmente se encuentra en los suelos en pequeñas cantidades, que suplen las exigencias de los cultivares.

La asimilación de este elemento no sólo depende de la cantidad de magnesio soluble, sino también de la abundancia de otros iones que pueden interferir la asimilación del Mg^{++} . En suelos demasiado ácidos, o con un contenido muy alto de K^+ o Ca^{++} , la absorción del Mg^{++} por la planta se realiza con dificultad.

2.14 HIERRO EN EL SUELO

El Fe se encuentra en la naturaleza tanto en forma de Fe (III) como de Fe (II), dependiendo del estado redox del sistema. Se encuentra en el suelo en cantidad suficiente formando distintos compuestos como ser óxidos e hidróxidos. Sin embargo, la cantidad total no se correlaciona con la cantidad disponible para las plantas. La coloración de los suelos es debida, en su mayoría, a la presencia de los óxidos libres. Los colores amarillo-pardos de las zonas templadas-frías se deben a la presencia de óxidos hidratados como la goetita. Las coloraciones rojas de regiones áridas son debidas a óxidos no hidratados como la hematita. Las formas del Fe son:

a) Soluble: Se encuentra en condiciones reductoras, como Fe^{2+} y sus formas hidroxiladas $Fe(OH)^{n2-n}$ en la disolución del suelo.

Cuando el potencial de oxidación y la acidez sean altos se encuentra como Fe^{3+} y sus formas hidroxiladas $Fe(OH)^{n3-n}$. En combinaciones orgánicas formando complejos, en forma divalente y trivalente.

b) Insoluble: Como oxihidróxidos férricos (goetita, hematita, maghemita, lepidocrocita, ferridrita.). En forma de oxihidróxidos mixtos de Fe (III) y Fe (II) como la magnetita o el óxido ferrósico. En forma de $FeCO_3$, siderita, en suelos muy reducidos (11).

Iñiguez (2007) enuncia en general el suelo está bien provisto de este elemento, ocupa el tercer lugar de abundancia en la corteza terrestre. Su contenido en el suelo varía desde trazas de 500000 ug/ml o lo que es lo mismo desde trazas desde 5 %, como término medio e asigna 25000 ug/ml. El hierro en considerables cantidades se encuentra en la biotita $Si_3O_{10}AlK(MgFe)_3(OH)_2$, hornblenda $Si_6O_{22}Al_2Ca_2Mg_2Fe_3(OH)_2$, augita $Si_6O_{24}Ca_2(Al.Fe)_4(Mg.Fe)_4$, limonita $Fe_2O_3.3H_2O$, hematita Fe_2O_3 . También se encuentra en el olivino, granate, ilmenita, magnetita y turmalina, aunque en muy bajas cantidades. Todos estos son muy resistentes a la edafización y se encuentran en rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias.

2.15 COBRE EN EL SUELO

Iñiguez (2007) manifiesta el contenido de cobre varía desde trazas hasta 150 ug/ml o lo que es lo mismo desde trazas hasta 0,015 %. Como término medio para los suelos superficiales se asigna 50 ug/ml. La fracción asimilable puede variar entre 0,5 y 1 ug/ml. El contenido de cobre asimilable depende, sobre todo, del lavado de los suelos y de su precipitación en los suelos alcalinos. La materia orgánica retiene el cobre como intercambio iónico y por quelación. El cobre se encuentra en la naturaleza en forma de sulfuros e Hidroxi – carbonatos. Se encuentra en los componentes más fácilmente edafizados y moderadamente estables de las rocas ígneas y en cantidades trazas en olivino, hornblenda, augita, biotita, anortita, andesita, albita, oligoclasa y ortoclasa. En las rocas sedimentarias se encuentra como componente en trazas de pizarras y minerales de manganeso.

Los sulfuros son la principal fuente de suministro de Cu a los suelos, siendo los más comunes el sulfuro cuproso (SCu₂), el sulfuro férrico-cuproso (S₂FeCu) y el sulfuro cúprico (SCu). En la fase sólida del suelo se encuentra bajo forma cúprica (Cu II), formando parte de las estructuras cristalinas de minerales primarios y secundarios. En menor porcentaje se encuentra en la materia orgánica, fijado como catión intercambiable al complejo coloidal arcilloso. En la solución del suelo se encuentra fundamentalmente como Cu²⁺ y formando complejos estables con las sustancias húmicas del suelo (11).

2.16 ZINC EN EL SUELO

Iñiguez (2007) dice el zinc al igual que el boro abunda más en la capa superficial del suelo. El contenido en el suelo generalmente varía en trazas hasta 250 ug/ml, lo que es lo mismo desde trazas hasta 0,025 %. Se presenta en forma natural en sulfuros, óxidos y silicatos, se lo encuentra también como componente traza de las rocas ígneas, hornblenda y biotita; y, en rocas sedimentaria como componente traza en los minerales de manganeso.

2.17 MANGANESO EN EL SUELO

Existe en el suelo proviene de óxidos, carbonatos, silicatos y sulfatos. Debido a sus diferentes grados de oxidación (II, III y IV) y a la propiedad de pasar con facilidad de unas formas a otras, el comportamiento del Mn en el suelo es complejo (11).

Las formas en que se puede presentar en el suelo son:

Ion manganeso Mn^{2+} en la solución del suelo. Es intercambiable y disponible para las plantas.

Óxidos e hidróxidos (MnO_2 , $MnOOH$) o asociado a hidróxidos de hierro. Sales poco solubles (fosfatos de Mn (II) y Mn (III), carbonatos de Mn (II)), sobre todo en suelos calizos y alcalinos. Participando en compuestos orgánicos.

La presencia del Mn disponible, Mn (II), depende tanto del pH como del potencial redox. A pH superior a 5,5 se favorece la oxidación por acción biológica en suelos bien aireados, por lo que disminuye su disponibilidad. A su vez, las formas oxidadas se reducen, pasando ser más disponibles, a pH más ácido y en suelos reducidos (11).

Iñiguez (2007) manifiesta que la cantidad de manganeso en el suelo varía desde trazas hasta 10000 ug/ml o lo que es lo mismo desde trazas hasta el 1 %, en término promedio se señala 2500 ug/ml, pero del total del manganeso del suelo solamente de 0,1 a 0,3 ug/ml es asimilable, este comprende el manganeso soluble o intercambiable y un parte oxidada fácilmente reducible, el manganeso se encuentra en forma natural en óxidos sulfuros y silicatos, su mayor parte proviene de las rocas ferromagnesianas.

En las rocas ígneas como componentes trazas y en formas fácilmente meteorizadas, se halla en Pirolusita MnO_2 , braunita Mn_2O_3 , hausmanita Mn_3O_4 y manganita $MnO.OH$, en menor cantidad está presente en olivino, hornblenda, augita, biotita; en forma moderadamente estable en anortita, andesita y granate; no se encuentra en ninguna roca ígnea de manera muy estable. Así mismo como componente traza en las rocas sedimentarias se encuentra en las calcitas y dolomitas.

2.18 SODIO EN EL SUELO

Jordán (2006) afirma que cuando el Na^+ es el catión dominante se favorece la dispersión de las arcillas. De este modo, el grado de desarrollo de la estructura es bajo. Por otra parte, la hidrólisis de las arcillas sódicas conduce a la alcalinización del perfil, y esta provoca intensa alteración mineral. El perfil queda bien diferenciado desde el punto de vista morfológico.

El valor de pH oscila entre 8.5 y 10.0. Los suelos sódicos tienen pequeñas cantidades de las sales que se encuentran en los suelos salinos, pero tienen un alto contenido en sodio.

En los suelos sódicos, el porcentaje de sodio intercambiable (PSI) es superior al 15%. A menudo, además del PSI se utiliza el porcentaje de adsorción de sodio (PAS), que compara la concentración de iones de calcio y magnesio con el sodio en el complejo de cambio:

$$PAS = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Mg^{2+} + Ca^+}{2}}}$$

En los suelos sódicos, este valor se halla por encima de 13.

Cuadro 4. Niveles de toxicidad de sodio para las plantas.

TIPO	PRESENCIA EN SUELOS SALINOS	TOXICIDAD PARA LAS PLANTAS
K ₂ SO ₄	Baja	Ligeramente tóxico
Na ₂ CO ₃	Suelos sódicos	Extremadamente tóxico
CO ₃ HNa	Suelos sódicos	Muy tóxico

2.19 SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA (SIG)

Un Sistema de Información Geográfica (SIG o GIS, en su acrónimo inglés) es una integración organizada de hardware, software, datos geográficos y personal, diseñada para capturar, almacenar, manejar, analizar, modelar y representar en todas sus formas la información geográficamente referenciada con el fin de resolver problemas complejos de planificación y gestión. También puede definirse como un modelo de una parte de la realidad referido a un sistema de coordenadas terrestre y construido para satisfacer unas necesidades concretas de información.¹⁷

Técnicamente se puede definir un SIG como una tecnología de manejo de información geográfica formada por equipos electrónicos (hardware) programados adecuadamente (software) que permiten manejar una serie de datos espaciales (información geográfica) y realizar análisis complejos con éstos siguiendo los criterios impuestos por el equipo científico (personal) (18).

¹⁷ http://www.gbif.es/ficheros/Guion_SIG.pdf

¹⁸ <http://www.rlc.fao.org/es/prioridades/transfron/sig/intro/compo.htm>

2.19.1 COMPONENTES DE UN SIG

Un SIG integra cinco componentes principales: hardware, software, datos, recurso humano y métodos.

a) Equipos (Hardware): El hardware es el computador donde opera el SIG. Hoy por hoy, los SIG se pueden ejecutar en una gran variedad de plataformas, que pueden variar desde servidores (computador central) a computadores desktop (escritorio) o Laptop (portátil) que se utilizan en las configuraciones de red o desconectado.

b) Programas (Software): Los programas de SIG proveen las funciones y las herramientas que se requieren para almacenar, analizar y desplegar información geográfica. Los componentes más importantes son:

Herramientas para la entrada y manipulación de la información geográfica.

Un sistema de administración de base de datos.

Herramientas que permitan búsquedas geográficas, análisis y visualización.

c) Datos: Posiblemente los componentes más importantes de un SIG son los datos. Los datos geográficos y tabulares relacionados pueden colectarse en la empresa, en terreno o bien adquirirlos a quien implementa el sistema de información, así como a terceros que ya los tienen disponibles. El SIG integra los datos espaciales con otros recursos de datos y puede incluso utilizar los administradores de base de datos (DBMS) más comunes para organizar, mantener y manejar los datos espaciales y toda la información geográfica.

d) Recurso humano: La tecnología SIG está limitada si no se cuenta con el personal adecuado que opere, desarrolle y administre el sistema, y llevar a cabo los planes de desarrollo para aplicarlos a los problemas del mundo real. Entre los usuarios de SIG se encuentran los especialistas técnicos, que diseñan y mantienen el sistema para aquellos que los utilizan diariamente en su trabajo.

e) Metodología y Procedimientos: Para que un SIG tenga éxito, este debe operar de acuerdo a un plan bien diseñado y estructurado y acorde con las reglas de la empresa o institución, que son los modelos y prácticas operativas características de cada organización (18).

2.20 BASE DE DATOS GEOGRAFICOS O GEODATABASE

“Es un modelo que permite el almacenamiento físico de la información geográfica, ya sea en archivos dentro de un sistema de ficheros o en una colección de tablas en un Sistema Gestor de Base de Datos” (19).

Permite almacenar numerosos tipos de datos: Vectorial, raster, CAD, tablas, topología, información calibrada, etc. (20).

2.21 TOPOLOGÍAS, MODELOS DE DATOS Y TIPOS DE SIG

En función del modelo de datos implementado en cada sistema, podemos distinguir tres grandes grupos de Sistemas de Información Geográfica: SIG Vectoriales, SIG Raster y SIG con modelo de datos Orientados a Objetos. En realidad, la mayor parte de los sistemas existentes en la actualidad pertenecen a los dos primeros grupos (vectoriales y raster). Aunque veremos posteriormente las diferencias entre ambos con más detalle, adelantaremos que los vectoriales utilizan vectores (básicamente líneas), para delimitar los objetos geográficos, mientras que los raster utilizan una retícula regular para documentar los elementos geográficos que tienen lugar en el espacio (21).

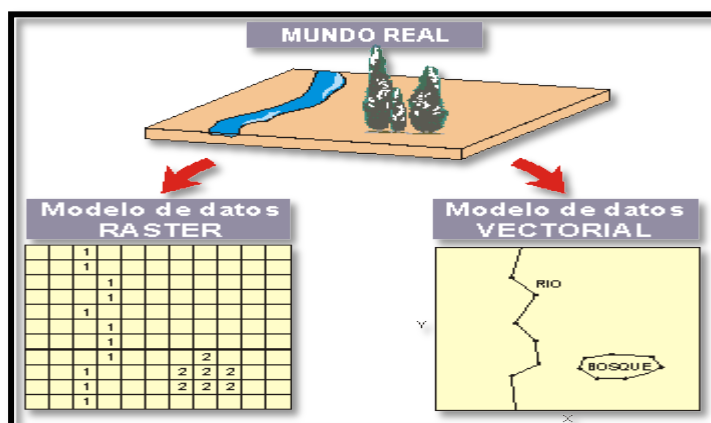


Figura 5. Modelos de Sistemas de Información Geográfica.

2.21.1. LOS SIG VECTORIALES

Son aquellos Sistemas de Información Geográfica que para la descripción de los objetos geográficos utilizan vectores definidos por pares de coordenadas relativas a algún sistema cartográfico. Con un par de coordenadas y su altitud gestionan un punto (e.g. un vértice

19 http://www.geoportaligm.gob.ec/portal/?wpfb_dl=31
20 <http://servidoresgeograficos.blogspot.com/2008/07/geodatabase.html>
21 <http://www.gabrielortiz.com/index.asp?Info=012>

geodésico), con dos puntos generan una línea, y con una agrupación de líneas forman polígonos. De entre todos los métodos para formar topología vectorial la forma más robusta es la topología arco-nodo, cuya lógica de funcionamiento trataré de detallar en los siguientes esquemas: La topología arco-nodo basa la estructuración de toda la información geográfica en pares de coordenadas, que son la entidad básica de información para este modelo de datos. Con pares de coordenadas (puntos) forma vértices y nodos, y con agrupaciones de éstos puntos forma líneas, con las que a su vez puede formar polígonos. Básicamente esta es la idea, muy sencilla en el fondo. Para poder implementarla en un ordenador, se requiere la interconexión de varias bases de datos a través de identificadores comunes. Estas bases de datos, que podemos imaginarlas como tablas con datos ordenados de forma tabular, contienen columnas comunes a partir de las cuales se pueden relacionar datos no comunes entre una y otra tabla. Hemos visto en el esquema anterior cómo se forman las líneas a partir de puntos (pares de coordenadas). Veamos ahora cómo se forman los polígonos a partir de la agrupación de líneas: En general, el modelo de datos vectorial es adecuado cuando trabajamos con objetos geográficos con límites bien establecidos, como pueden ser fincas, carreteras, etc. (21).

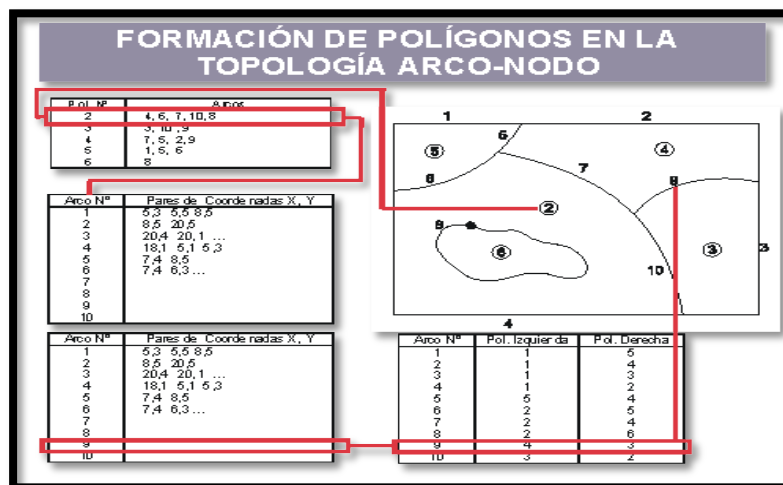


Figura 6. Formación de polígonos en topología vectorial.²¹

2.21.2. LOS SIG RASTER

Los Sistemas de Información Raster basan su funcionalidad en una concepción implícita de las relaciones de vecindad entre los objetos geográficos. Su forma de proceder es dividir la zona de afección de la base de datos en una retícula o malla regular de pequeñas celdas (a las que se denomina pixels) y atribuir un valor numérico a cada celda como representación de su valor temático. Dado que la malla es regular (el tamaño del pixel es constante) y que

²¹ <http://www.gabrielortiz.com/index.asp?Info=012>

conocemos la posición en coordenadas del centro de una de las celdas, se puede decir que todos los pixels están georreferenciados.

Lógicamente, para tener una descripción precisa de los objetos geográficos contenidos en la base de datos el tamaño del pixel ha de ser reducido (en función de la escala), lo que dotará a la malla de una resolución alta. Sin embargo, a mayor número de filas y columnas en la malla (más resolución), mayor esfuerzo en el proceso de captura de la información y mayor costo computacional a la hora de procesar la misma.



Figura 7. Organización en el modelo en topología raster.

No obstante, el modelo de datos raster es especialmente útil cuando tenemos que describir objetos geográficos con límites difusos, como por ejemplo puede ser la dispersión de una nube de contaminantes, o los niveles de contaminación de un acuífero subterráneo, donde los contornos no son absolutamente nítidos; en esos casos, el modelo raster es más apropiado que el vectorial (21).

2.21.3. LOS SIG ORIENTADOS A OBJETOS

No existe una definición clara ni un acuerdo general en la comunidad de usuarios acerca de la entidad de los modelos orientados a objetos, pero sí existe unanimidad en cuanto a las características que debe tener un S.I.G. de este tipo.

En primer lugar, los S.I.G. orientados a objetos plantean un cambio en la concepción de la estructura de las bases de datos geográficas; mientras los modelos de datos vectorial y raster estructuran su información mediante capas -como ya hemos dicho anteriormente- los sistemas orientados a objetos intentan organizar la información geográfica a partir del propio objeto geográfico y sus relaciones con otros. De este modo, los objetos geográficos están sometidos a una serie de procesos y se agrupan en clases entre las cuales se da la herencia.

21 <http://www.gabrielortiz.com/index.asp?Info=012>

En segundo lugar, los S.I.G. orientados a objetos introducen un carácter dinámico a la información incluida en el sistema, frente a los modelos de datos vectoriales y raster que tienen un carácter estático. Por ello, el modelo orientado a objetos es más aconsejable para situaciones en las que la naturaleza de los objetos que tratamos de modelar es cambiante en el tiempo y/o en el espacio (21).

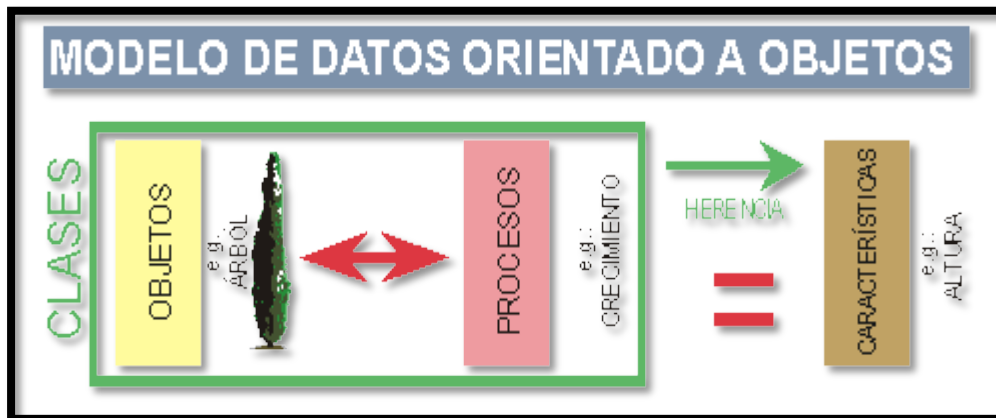


Figura 8. Modelo de datos orientados a objetos.

Para poner un ejemplo de organización de la información con este modelo de datos, pensemos en un subcompartimento forestal, dentro del cual se dan muchos árboles, cada uno de ellos sometido a unos procesos (por ejemplo el crecimiento); este crecimiento es heredado por el subcompartimento y da como resultado que la altura del mismo sea cambiante con el tiempo.

Por lo tanto, en este caso los atributos temáticos de cada objeto geográfico son el resultado de aplicar unas determinadas funciones que varían según las relaciones del objeto de referencia con su entorno. Sin duda alguna, este modelo de datos es más aconsejable que cualquier otro para trabajar con datos geográficos, pero se encuentra con dificultades de implementación en los actuales Sistemas de Gestión de Bases de Datos (SGBD), y por lo tanto también con dificultades de implementación en los S.I.G. Hoy en día comienzan a verse implementaciones de este tipo de organización de datos en algunos GIS comerciales, si bien son a nuestro entender aproximaciones en cierto modo incompletas cuya su funcionalidad tiene que ser mejorada en los siguientes años. La ventaja fundamental que permite esta estructura de datos frente a las demás es la dinamicidad de los datos. Es decir, a partir de una serie de parámetros establecidos en el comportamiento de los objetos geográficos, podemos simular su evolución futura, lo que constituye un gran avance si se trabaja en entornos en los que se requiere simulación de situaciones potenciales (21).

21 <http://www.gabrielortiz.com/index.asp?Info=012>

2.22 UNIDAD CARTOGRAFICA DE SUELOS

La representación a escala del patrón de distribución de los suelos de un área determinada constituye un mapa de suelos. Este mapa, a su vez, está formado por unidades cartográficas, conocidas más comúnmente como unidades de mapeo, las cuales delimitan un sector de la población de suelos (contenido pedológico) que forma parte de una o varias clases de la pirámide taxonómicas. Por tal razón, las unidades taxonómicas proveen el juego básico de propiedad del suelo para definir las unidades de mapeo. La unidad cartográfica es la unidad representada en el mapa de suelos. Se define principalmente en función de las unidades taxonómicas, pudiendo tomar cualquier nivel categórico, tales como serie, familia, etc. (22).

2.23 ZONIFICACION

La zonificación agro-ecológica (ZAE), de acuerdo con los criterios de FAO, define zonas en base a combinaciones de suelo, fisiografía y características climáticas.

Los parámetros particulares usados en la definición se centran en los requerimientos climáticos y edáficos de los cultivos y en los sistemas de manejo bajo los que éstos se desarrollan. Cada zona tiene una combinación similar de limitaciones y potencialidades para el uso de tierras, y sirve como punto de referencia de las recomendaciones diseñadas para mejorar la situación existente de uso de tierras, ya sea incrementando la producción o limitando la degradación de los recursos. Es un conjunto de aplicaciones básicas, que conducen a una evaluación de la aptitud y productividad potencial de tierras, y un conjunto de aplicaciones avanzadas o periféricas, que se pueden construir sobre los resultados de los estudios de ZAE (19).

22 <http://webdelprofesor.ula.ve/forestal/clifford/materias/suelos/cartografia%20de%20suelos.pdf>

19 http://www.geoportaligm.gob.ec/portal/?wpfb_dl=31

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 MATERIALES

3.1.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA EN ESTUDIO

El Cantón Las Lajas, políticamente, se encuentra ubicado al sur oeste de la provincia de El Oro; tiene una superficie de 301,55 km², que equivale aproximadamente el 5,15 % de la superficie total de la provincia, los límites son: al norte con el Cantón Arenillas; al sur con la provincia de Loja; al este con los Cantones Marcabelí y Paltas provincia de Loja, al oeste con Perú.

La formación ecológica corresponde a tres zonas de vida: monte espinoso subtropical (me-sT), bosque seco subtropical (bs-sT), y monte espinoso subtropical (me-sT) según Holdridge, con una temperatura que fluctúa entre 18 y 23.5 o C, y una precipitación que va de 40 a 425 mm promedio anual.



Figura 9. Mapa del Ecuador en el que se ubica al cantón Las Lajas, provincia de El Oro.

3.1.2 COORDENADAS GEOGRÁFICAS

El cantón Las Lajas tiene las siguientes coordenadas geográficas:

Latitud Sur 3°40'00" a 3°50'00"

Longitud Oeste 80°00'00" a 80°15'00",

Las coordenadas planas en el sistema PSAD-56 con las unidades UTM que va desde:

9570000 -9592000 N

590000 – 614000 E

Altitud: desde 400 a 980 msnm.

3.1.3 MATERIALES UTILIZADOS

3.1.3.1 Materiales de laboratorio

Acotamos que el muestreo de Suelo fue realizado por el tesista Luis Enrique Tigre Moreno para obtener el grado de ingeniero agrónomo. Dentro del laboratorio se necesitará: muestras de suelo, balanza, vasos de precipitación de 250 ml, varilla de vidrio, pipetas aforadas de 2, 10, 20 y 25 ml, pipetas volumétricas de 5 y 10 ml, erlenmeyer de 250 ml, bureta, tubos de ensayo, batidor eléctrica, cilindro de sedimentación, hidrómetro de Bouyoucus, termómetro, piceta, reloj, diagrama de textura, balón aforado de 100 ml, papel filtro, embudos, soportes para embudo, botellitas de polietileno, espectofotómetro de absorción atómica, agitadores eléctricos, vasos de 100 ml, pipetas de precisión de 1 ml, valones aforados de diferentes volúmenes(para la preparación de diferentes patrones), fotocolorímetro, agitador automático, carro para transporte de materiales, medidores de suelo de capacidad de 2,5 ml, 5 ml y 10 ml.

3.1.3.2 Reactivos

Para los diferentes procedimientos se necesita los siguientes reactivos : oxalato de sodio saturado, alcohol amílico, dicromato de potasio 1 normal, ácido sulfúrico concentrado, ácido fosfórico al 85%, sulfato ferroso amoniacal 6 H₂O 0,2 normal, difenilamina, alcohol etílico, acetato de amonio, cloruro de sodio al 10%, formol al 40% neutralizado, hidróxido de sodio 0,1 normal y 1,0 normal, fenolftaleína al 1,0 % , tartrato de potasio y antimonio, molibdato de amonio, ácido ascórbico, fosfato monobásico, fosfato ácido de potasio, bicarbonato de sodio, EDTA, ácido clorhídrico 0,1 normal, óxido de lantano al 1%, ácido clorhídrico concentrado, agua destilada.

3.1.4 FACTORES DE ESTUDIO

Los factores a estudiarse fueron: textura, pH, carbono orgánico, y materia orgánica en %. N, P, K, Ca, Mg y S en ug/ml. Fe, Cu, Zn, B, Cl, Mn y Mo en ppm, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, K⁺, Na⁺ y CIC en me/100g.

3.2 MÉTODOS

3.2.1 METODOLOGÍA PARA CUMPLIR CON EL PRIMER OBJETIVO

(Determinar el grado fertilidad de los suelos mediante análisis de textura, pH, carbono orgánico, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, K⁺ y Na⁺ cambiables, N, P, K, y complementariamente Fe, Cu, Zn, Mn.).

3.2.1.1 Materia Orgánica, protocolo de Walkley Black

1. Pesar 1 gramo de suelo seco tamizado a 2 mm.
2. Poner la muestra en un balón aforado de 100 ml.
3. Medir exactamente en una pipeta de 10 ml dicromato de potasio 1 normal y agregarlo sobre la muestra.
4. Medir en un vaso graduado de 20 ml ácido sulfúrico concentrado y agregarlo cuidadosamente a la muestra a través de las paredes del balón.
5. Agitar el balón y dejar en digestión durante 15 a 30 minutos.
6. Aforar el balón con agua destilada y dejar enfriar. Restablecer exactamente el nivel de aforo cuando se haya enfriado la solución.
7. Extraer 10 ml de solución exactamente medido con una pipeta aforada y colocarla en un erlenmeyer de 250 ml.
8. Agregar en el erlenmeyer 3 ml. de ácido fosfórico al 85% y 6 gotas de difenilamina.
9. Titular el contenido del erlenmeyer con sulfato ferroso amoniacal 0,2 normal hasta viraje verde claro.
10. Determinar el gasto de sulfato medio en la bureta y calcular el % de materia orgánica de la siguiente manera:

$$\% \text{ CO} = (\text{gasto de dicromato} - \text{gasto de sulfato}) * 0,4 = \% \text{ CO}$$

$$\% \text{ MO} = \% \text{ C} * 1,724$$

3.2.1.2 Análisis Mecánico, protocolo de Bouyoucus

1. Pesar 50 g de suelo secado al aire y tamizado a 2 mm de diámetro (TFSA). Si el suelo es muy arenoso se pesa 100 g.
2. Colocar la muestra pesada en el vaso de la dispersadora y agregar agua hasta la mitad de su capacidad.
3. Agregar 5 ml de oxalato de sodio saturado y 5 ml de hidróxido de sodio 1 normal y agitar con una varilla de vidrio.
4. Instalar el vaso en la dispersadora durante 5 minutos.

Concluida la dispersión pasar la suspensión a la probeta de sedimentación empleando una piceta para remover todas las partículas.

Agregar agua a la probeta hasta la línea de aforo 1130 ml si se emplean 50 g de suelo, o 1250 ml si se utilizan 100 g. debe tenerse la precaución de realizar el aforo con hidrómetro dentro de la suspensión.

Agitar la probeta tapándolo con la palma de la mano y volteándolo sucesivamente de arriba para abajo hasta conseguir la remoción de todo el suelo sedimentado en el fondo.

Colocar la probeta sobre la mesa e introducir lentamente el hidrómetro. Se agregan unas gotas de alcohol amílico si hay formación de espuma.

Hacer la primera lectura del hidrómetro a los 40 segundos de iniciada la sedimentación, luego medir con el termómetro la temperatura de la suspensión.

Efectuar una segunda lectura del hidrómetro a las 2 horas de iniciada la sedimentación, registrar la temperatura.

Efectuar la corrección de la densidad media con el hidrómetro sumando o restando 0,11 por cada °C superior o inferior a 20 °C respectivamente.

Registra la primera lectura como A y la segunda como B y luego calcular los porcentajes de arena, limo y arcilla con las siguientes fórmulas:

$$\% \text{ de Arena} = 100 - \frac{A}{P} * 100$$

$$\% \text{ de Arcilla} = \frac{A}{P} * 100$$

$$\% \text{ de Limo} = 100 - (\% \text{ de Arena} + \% \text{ de Arcilla})$$

Dónde: P es el peso de la muestra.

3.2.1.3 Capacidad de intercambio catiónico (CIC), protocolo de Chapman

Pesar 5 g de suelo problema en botellitas de polietileno de 10 ml.

Lavar el suelo con 100 ml de agua destilada.

Agregar 25 ml de acetato de amonio OAcNH_4 1 normal pH 7,0.

Agitar por espacio de 30 minutos y dejar reposar 15 minutos.

Filtrar y pasar más acetato hasta completar 100 ml, recibir el filtrado en botellitas de polietileno y guardar el filtrado para determinar Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ cambiabiles.

Lavar el suelo que queda en el embudo con 100 ml de alcohol etílico para eliminar el exceso de amonio en porciones de 20 ml por 5 ocasiones.

Lavar el suelo con solución de cloruro de sodio al 10%, agregando porciones de 10 ml durante 5 veces.

Agregar al filtrado de cloruro de sodio 10 ml de formol al 40% neutralizado.

Titular el contenido con NaOH 0,1 normal, usando como indicador fenolftaleína al 1,0 %.

Hacer un blanco con agua destilada, cloruro de sodio y formol.

$$\text{CIC} = \text{gasto NaOH } 0,1 \text{ normal} \times 2$$

$$\text{CIC} = \text{me}/100\text{g de suelo}$$

3.2.1.4 N, P, K, Ca, Mg, Na, S, B, Mn, Fe, Cu y Zn. Protocolo del Espectrofotómetro de absorción Atómica.

Medir 2,5 ml de suelo y luego agregar 25 ml de la solución extractante de acetato de amonio 1 normal.

Agitar durante 10 minutos y luego filtrar.

Tomar 1 ml de alícuota del filtrado y luego agregar 9 ml de agua destilada.

Añadir 15 ml de óxido de Lantano al 1%.

Hacer la curva de calibrado tomando como punto alto las soluciones patrones de 50 – 250 – 50 ug/ml de K, Ca, Mg respectivamente y como cero la solución extractante.

Realizar las lecturas en el espectrofotómetro de absorción atómica.

3.2.1.5 Calcio, potasio, sodio y magnesio cambiables. Protocolo del Espectrofotómetro de Absorción Atómica.

Medir 2,5 ml de suelo y agregar 25 ml de solución de cloruro de potasio 1 normal luego agitar 10 minutos y filtrar.

Tomar una alícuota de 1 ml del filtrado y enseguida agregar 9 ml de agua destilada.

Añadir 15 ml de solución de óxido de lantano al 1%.

Hacer la curva de calibrado tomando como punto alto la solución patrón de 250 y 50 ug de Ca y Mg/ml, respectivamente y como cero la solución extractora, realizar las mismas diluciones del numeral 2.

Realizar las lecturas en el espectrofotómetro de absorción atómica.

Prepara una solución patrón que contenga 12,500 ug Ca/ml y otra de 5.000 ug Mg/ml, para esto pesar 45,85 g de $\text{Cl}_2\text{Ca} \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ y 41,80 g de $\text{Cl}_2\text{Mg} \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ y disolver por separado en la solución extractora de 1 normal de ClK hasta el volumen de 1000 ml.

Luego de la solución de 12,500 ug Ca/ml tomar 20 ml y de la solución de 5,000 ug Mg/ml tomar 10 ml y colocar juntos en un frasco volumétrico de 1000 ml y aforar con la solución extractora 1 normal de ClK para obtener concentraciones finales de 250 ug Ca/ml y 50 ug Mg/ml.

La solución de lantano al 1% es la misma que se usa para determinación de K.

Cuadro 5. Interpretación de los principales nutrimentos del suelo del Sur del Ecuador.

Nutrimento	Unidad de expresión	Muy Bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto
CO	%	<1,16	1,16- 2,32	2,32- 3,48	3,48- 4,64	>4,64
MO	%	<2,00	2,00- 4,00	4,00- 6,00	6,00 - 8,00	>8,00
N Total	%	<0,1	0,10- 0,20	0,20- 0,40	0,40- 0,60	>0,60
N	ug/ml	<20,00	20,00- 40,00	40,00- 60,00	60,00- 80,00	>80,00
P₂O₅	ug/ml	<10,00	10,00- 20,00	20,00- 30,00	30,00- 40,00	>40,00
K₂O	ug/ml	<50,00	50,00- 100,0	100,0- 150,0	150,0- 200,0	>200,0
CIC	me/100g	<9,00	9,00- 18,00	18,00- 27,00	27,00- 36,00	>36,00
Ca⁺⁺	me/100g	<2,00	2,00- 4,00	4,00 – 6,00	6,00- 8,00	>8,00
Mg⁺⁺	me/100g	<0,60	0,60- 1,20	1,20- 1,80	1,80- 2,40	>2,40
K⁺	me/100g	<0,20	0,20- 0,40	0,40- 0,60	0,60- 0,80	>0,80
Na⁺	me/100g	<0,50	0,50- 1,00	1,00- 1,50	1,50- 2,00	>2,00
B	ug/ml	<0,30	0,30- 0,60	0,60- 0,90	0,90- 1,20	>1,20
Cu	ug/ml	<1,50	1,50- 3,00	3,00- 4,50	4,50- 6,00	>6,00
Zn	ug/ml	<2,00	2,00- 4,00	4,00- 6,00	6,00- 8,00	>8,00
Fe	ug/ml	<15,00	15,00- 30,00	30,00- 45,00	45,00- 60,00	>60,00
Mn	ug/ml	<3,70	3,70- 7,4	7,4 – 11,10	11,10- 14,80	>14,80
S	ug/ml	<25,00	25,00- 50,00	50,00- 75,00	75,00- 100,0	>100,0
Al⁺⁺⁺	me/100g	<0,30	0,30- 0,60	0,60- 0,90	0,90- 1,20	>1,20
CEES	mms/cm	<2,00	2,00- 4,00	4,00- 6,00	6,00- 8,00	>8,00

Fuente: Fertilidad, fertilizantes y fertilización de suelo. Iñiguez Máximo, Loja-Ecuador, 2007

Cuadro 6. Puntaje y apreciación de la fertilidad de los suelos

Ph	Determinación Apreciación Puntos	4,0 a 5,0 Muy ácido -5 a 1	5,0 a 5,5 Ácido 1 a 5	5,5 a 6,5 Lig. Ácido 5 a 15	6,5 a 7,5 Casi Neutro 15	>7,5 a 14 Alcalino 15 a -5
CIC meq/100g	Determinación Apreciación Puntos	0 a 5 Muy baja -5 a 1	5 a 10 Baja 1 a 5	10 a 20 Mediana 5 a 10	20 a 30 Alta 10 a 20	> 30 Muy alta 20
Bases Totales meq/100g	Determinación Apreciación Puntos	0 a 1 Muy pobre -5 a 1	1 a 5 Pobre 1 a 5	5 a 10 Mediana 5 a 10	10 a 30 Alta 10 a 20	> 30 Muy alta 20
Saturación de Bases meq/100g	Determinación Apreciación Puntos	0 a 5 Muy baja -5 a 1	5 a 10 Baja 1 a 5	10 a 30 Mediana 5 a 10	30 a 60 Alta 10 a 20	> 60 Muy alta 20
Carbón Orgánico %	Determinación Apreciación Puntos	0 a 1 Muy pobre -3 a 1	1,0 a 1,5 Pobre 1 a 3	1,5 a 2,5 Normal 3 a 5	2,5 a 4,0 Alta 5	> 4,0 Muy alta 5
Nitrógeno Total %	Determinación Apreciación Puntos	0 a 0,10 Muy pobre -5 a 1	0,10 a 0,15 Pobre 1 a 5	0,15 a 0,25 Normal 5 a 15	0,25 a 0,30 Alta 15	> 0,30 Alta 15
Fosforo Ppm	Determinación Apreciación Puntos	0 a 7,6 Muy pobre -5 a 1	7,6 a 15,1 Pobre 1 a 5	15,1 a 31,1 Normal 5 a 15	31,1 Alta 15	> 31,1 Muy alta 15
Fertilidad	PUNTAJE Suma Puntos 10 Apreciación	-5 a 2 Muy baja	3 a 5 Baja	6 a 8 Moderada	9 a 10 Mod. Alto	> 10 Alta

Fuente: Instituto Geográfico “Agustín Codazzi”, Bogotá – Colombia, 1979

3.2.2 METODOLOGÍA PARA CUMPLIR CON EL SEGUNDO OBJETIVO.

(Elaborar los mapas de fertilidad, textura, pH, carbono orgánico, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, K⁺ y Na⁺ cambiante, N, P, K, Fe, Cu, Zn, Mn, del cantón Las Lajas).

La elaboración de los mapas de textura, capacidad de intercambio catiónico, fertilidad, pH, carbono orgánico, materia orgánica, y bases cambiables, se los realizó en el programa ArcGis 9.3, para lo cual se hace primero una base de datos en una hoja de Excel.

Abrir el programa y seleccionamos un archivo en blanco

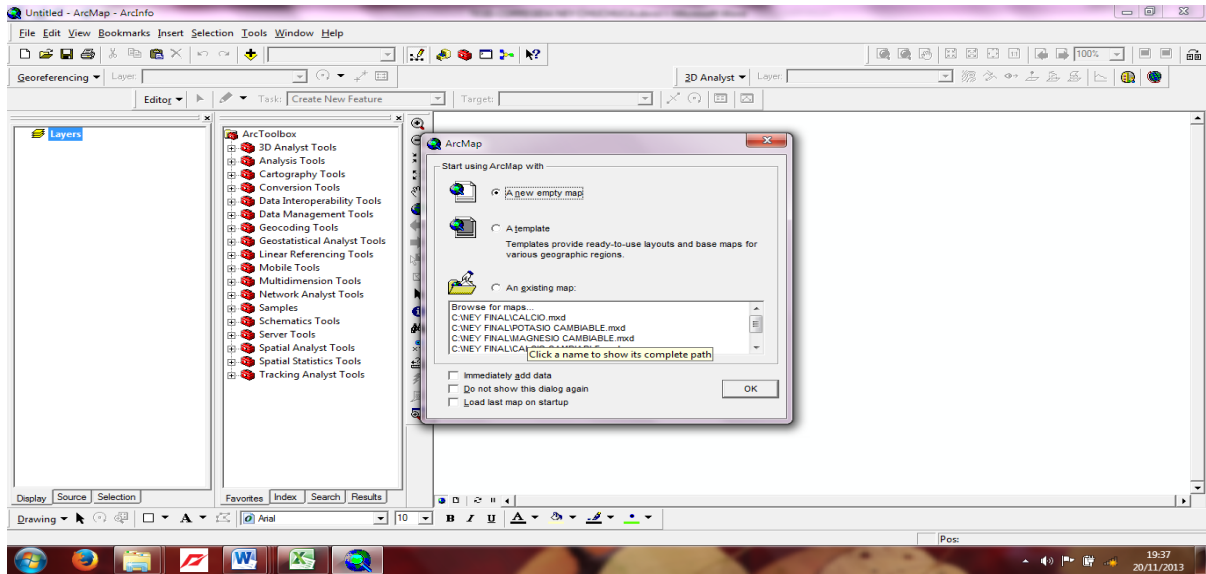


Figura 10. Apertura de ArcMap y escoger un archivo en blanco.

Luego se selecciona el botón agregar y ubicar el archivo donde están las coordenadas en la base de datos de Excel y dar clic en abrir, dentro de este ubicar la hoja dentro del archivo donde están escritos, y luego elegir agregar con el botón “add” y ya están los puntos en el programa.

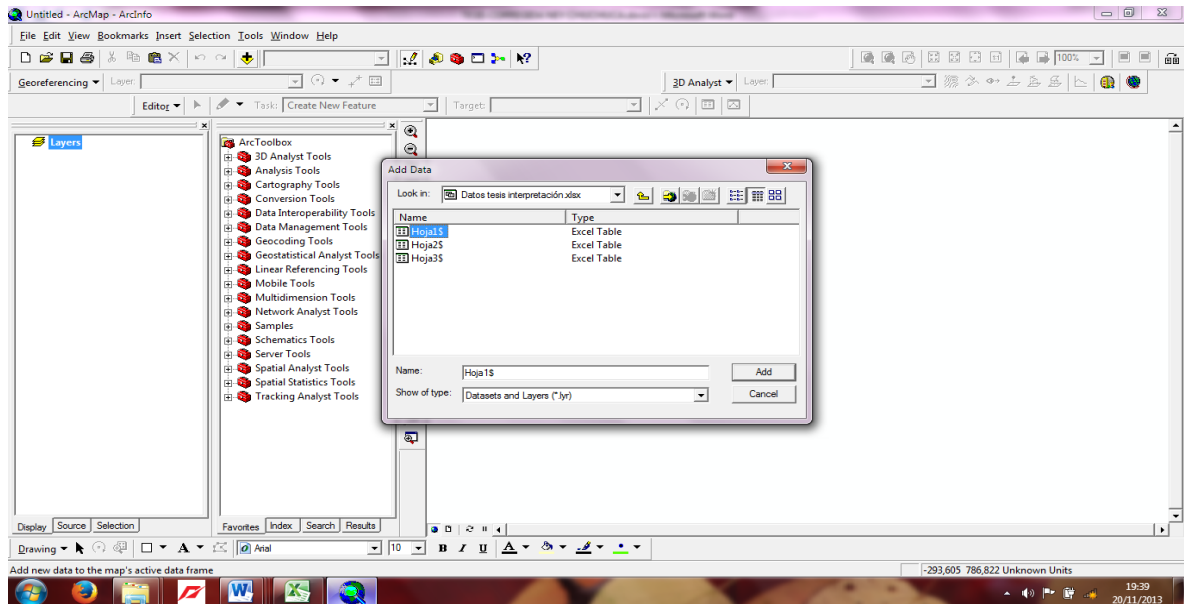


Figura 11. Agregar la base de datos interpretada de Excel que se encuentra en la hoja 1.

Luego hacer clic derecho en la capa recién creada y seleccionar “display data x y” y en la ventana proceder a ubicar las coordenada X y Y dependiendo en que columnas están en el archivo de Excel.

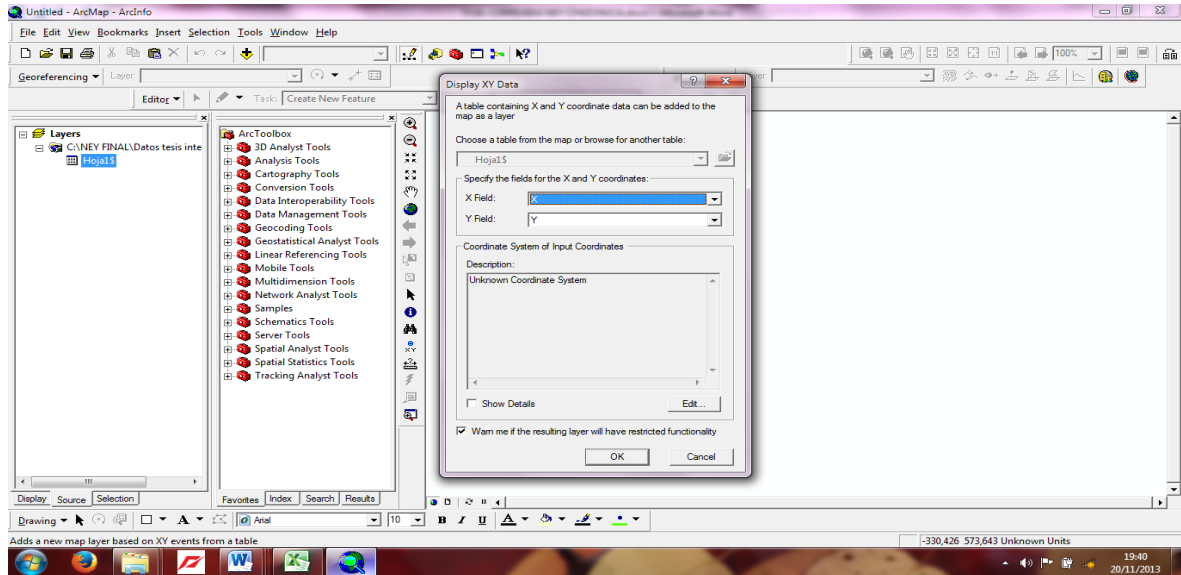


Figura 12. Edición de las coordenadas del archivo de Excel.

Luego seleccionar edit en el espacio donde van el sistema de coordenadas, en el que está ubicado el archivo, y en el menú elegir “select” en la ventana seleccionar “projected coordinate system” seleccionar “UTM” luego “WGS 1984” y ahí seleccionar la zona “17 sur” y presionar add.

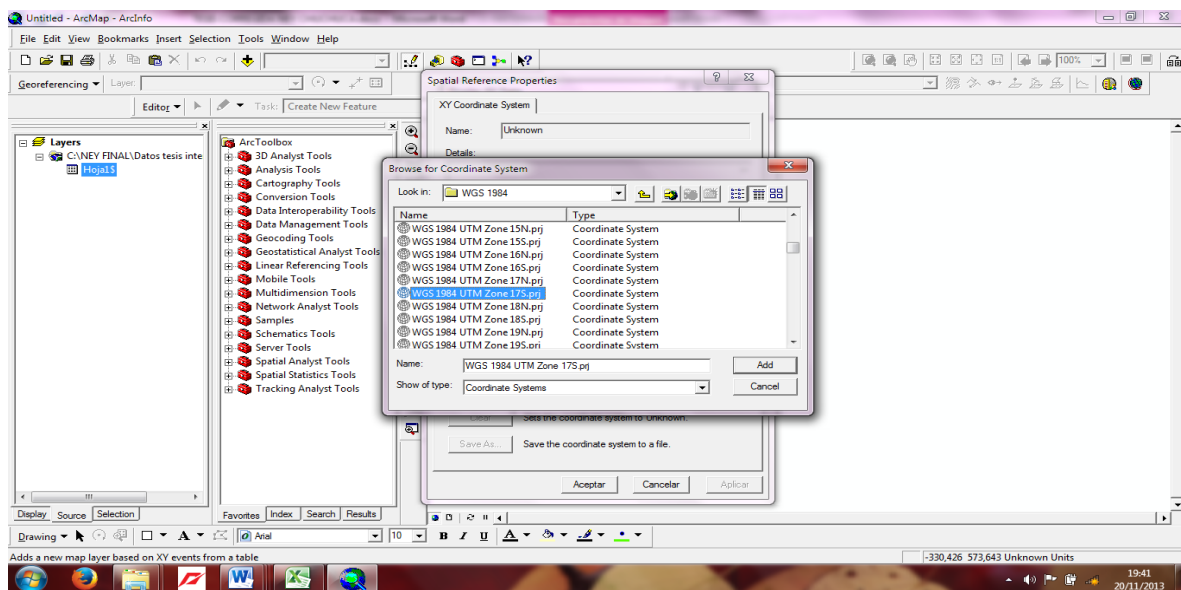


Figura 13. Edición y proyección de las coordenadas geográficas.

Luego ubicar el botón “ArcTool box window” y ubicar ahí la opción “feature to point” en la ventana de comandos y seleccionar en “input features” el archivo en desarrollo y en “output feature” la carpeta donde se desea ubicar el archivo y se le da nombre, puede ser puntos de muestreo, elegir “save”, “ok” y luego “close”.

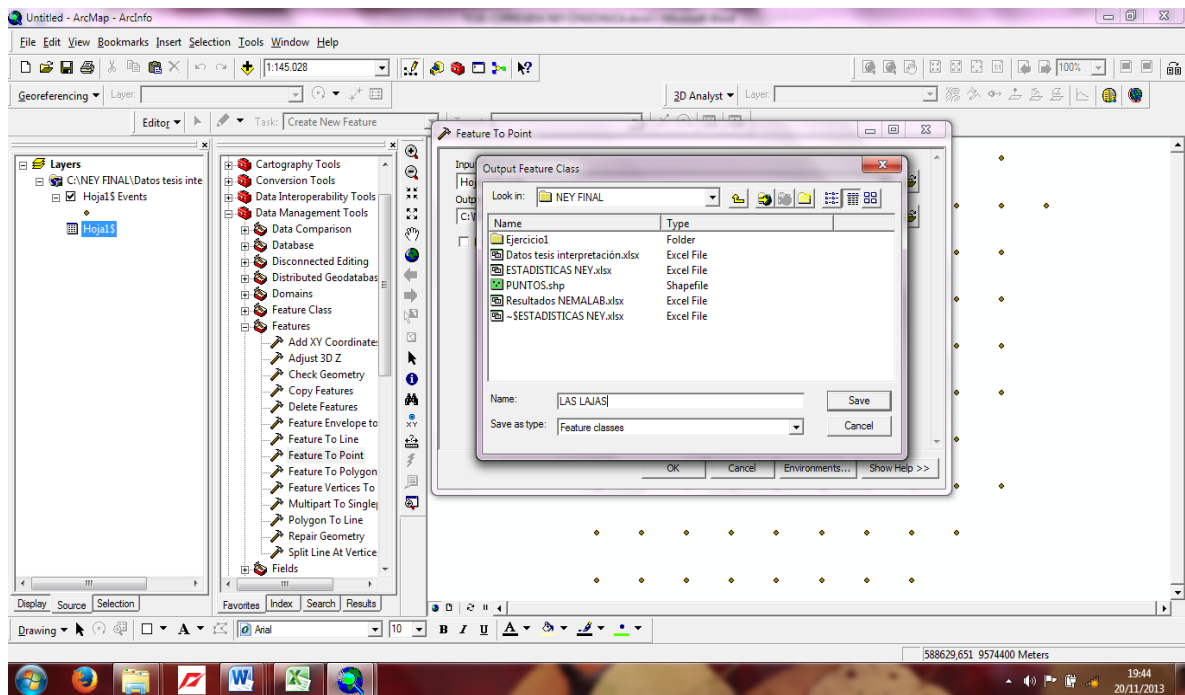


Figura 14. Creación del shape de la base de datos.

Luego cargar el shape del cantón en estudio (cantón Las Lajas).

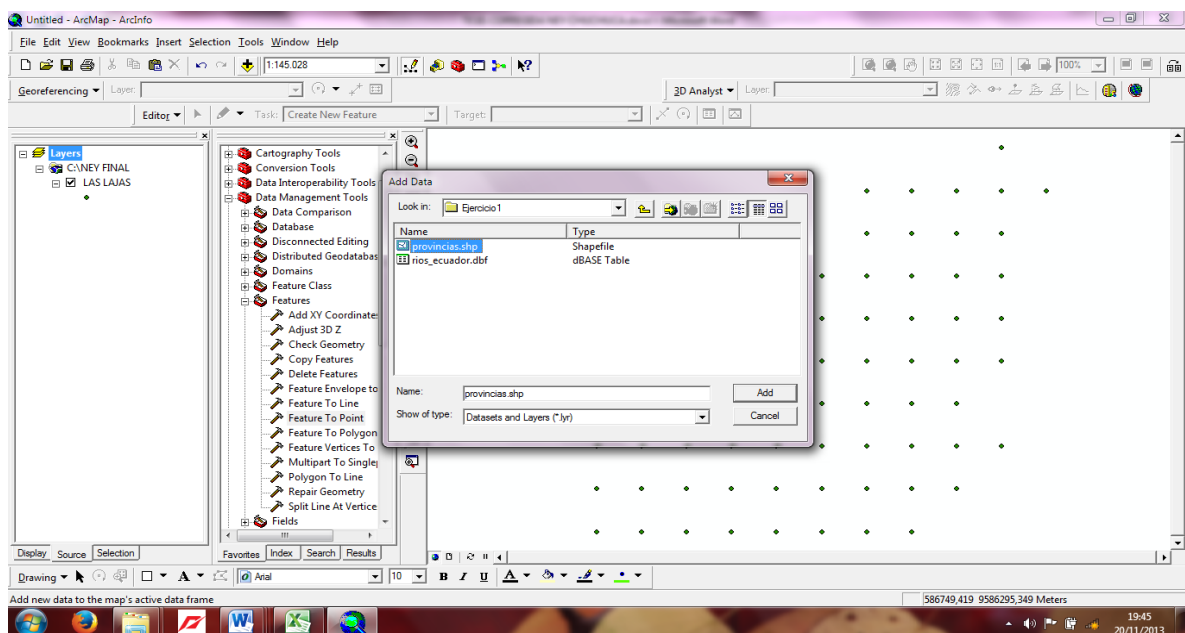


Figura 15. Cargar el mapa general del ecuador.

Luego ir a la capa puntos para hacer clic derecho y abrir la tabla de atributos, a continuación iniciar el editor con el botón “Editor” y en el menú colgante seleccionar “start editing”, en ella seleccionar “options” y ahí “add field” el cual se va a convertir en el mapa que se va a crear.

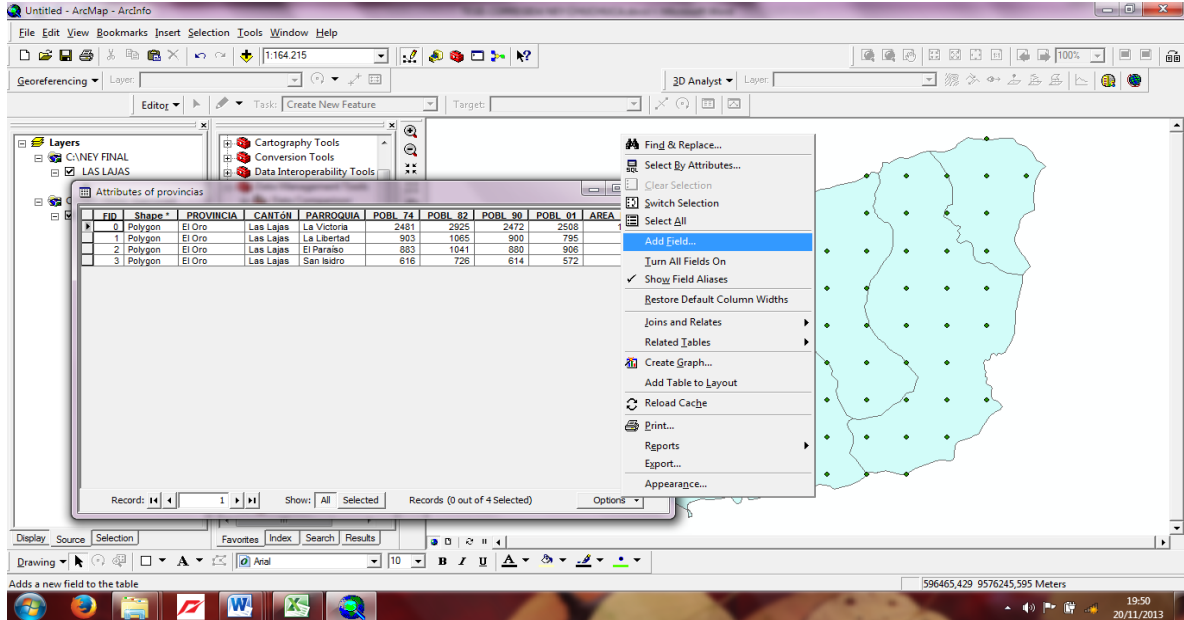


Figura 16. Edición del mapa del cantón las Lajas.

Luego en la ventana poner el nombre del campo y la configuración de los datos que se va a poner y luego “ok”.

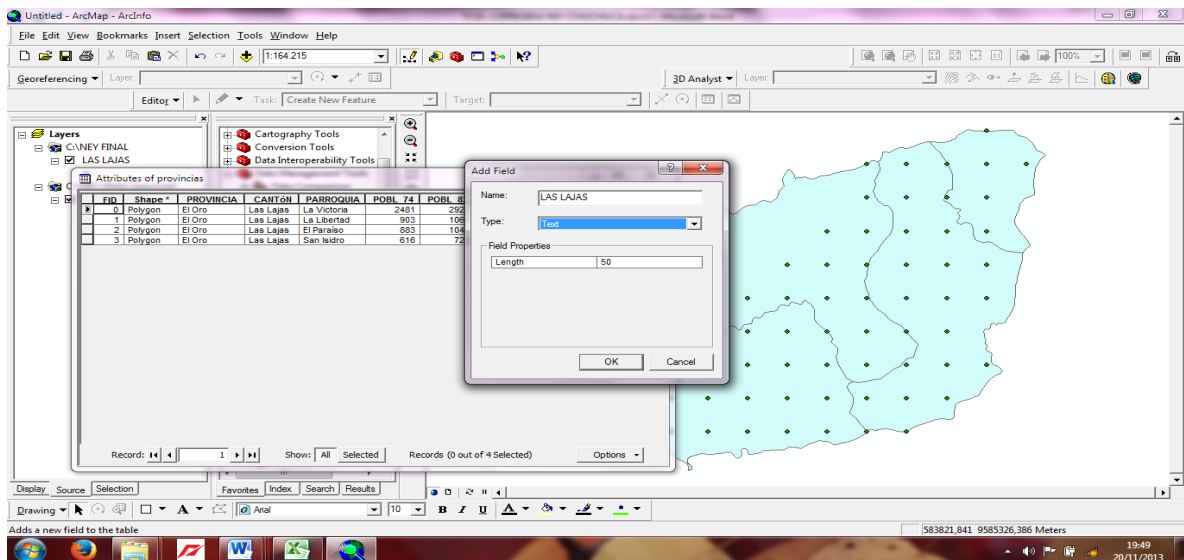


Figura 17. Agregar campos de la base de datos.

Luego copiar directamente los datos desde la hoja de Excel al campo añadido, estos ya deben estar tabulados y refiriéndose a lo que queremos representar en el mapa. Luego seleccionar la

barra de tareas “3d analyst” y en el menú colgante elegir “options”, a continuación presionar la pestaña “extent”, en la barra “analistentent” seleccionar “same as layer Las Lajas” y en la pestaña “general” donde dice “analismask” poner “Las Lajas” y luego aceptar, esto es para que los datos no se extrapolen sino que se interpolen solo en la forma del shape Las Lajas.

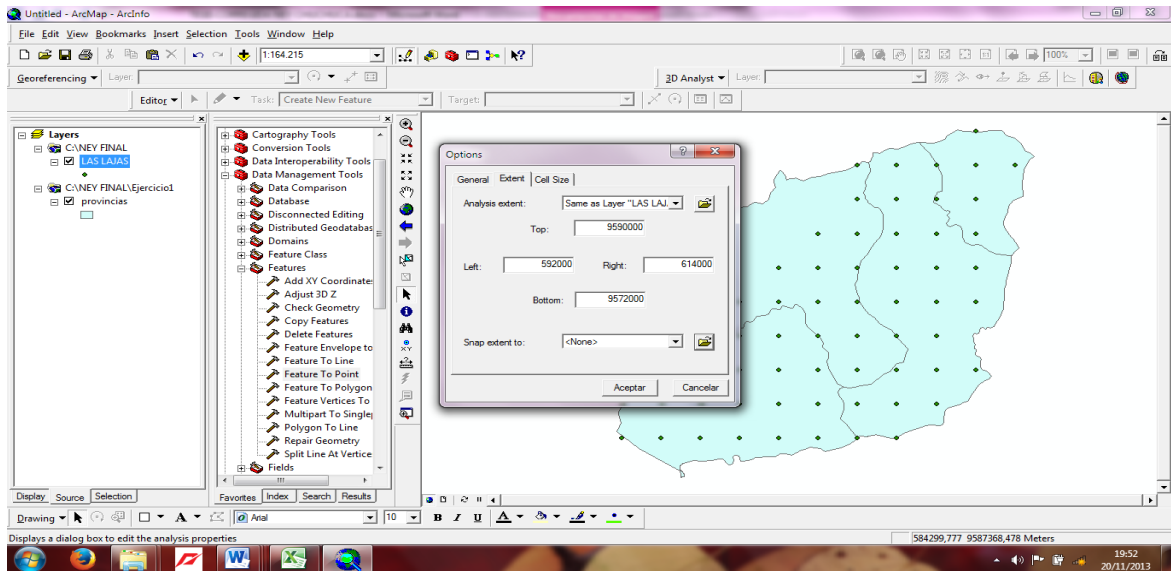


Figura 18. Interpolación de la base de datos.

Luego abrir el “3d analyst” de nuevo y en la opción “interpólate to raster” seleccionar “spline” y en el menú posterior en la opción “z value field” elegir el campo que hemos agregado en la tabla, y en “output raster” hacer clic en la carpeta y seleccionar la ubicación y el nombre de la capa y luego el botón ok.

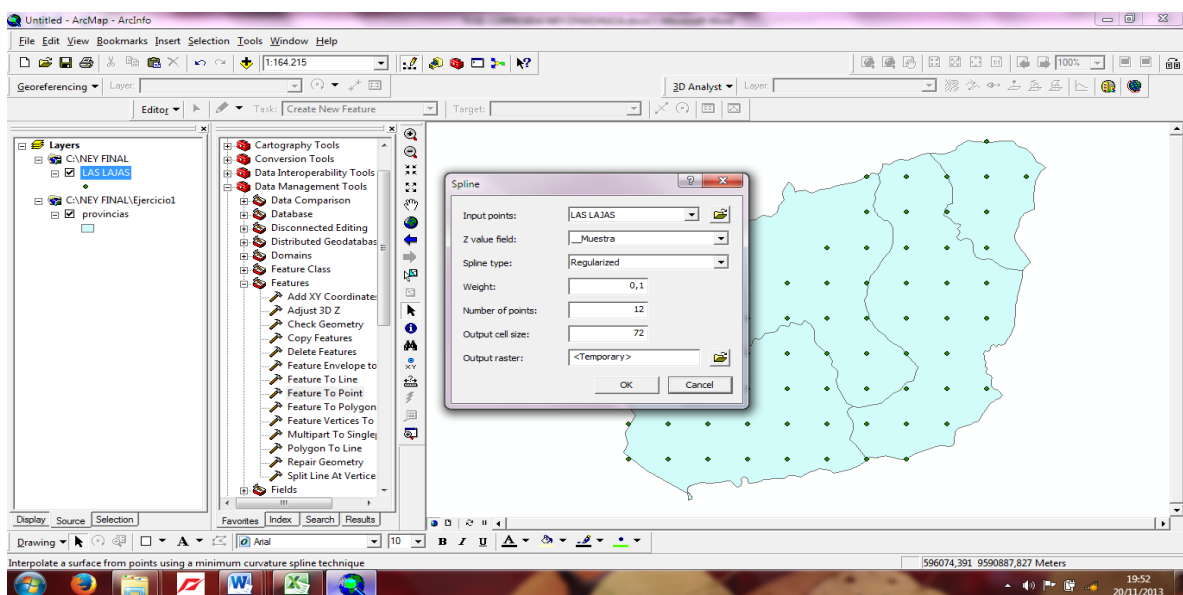


Figura 19. Selección del campo para graficar el mapa.

Ahora en la capa recién creada cobre hacer clic derecho y seleccionar propiedades. Luego en la ventana el botón “clasiffi” y en el elegir el número de intervalos en los que van a estar clasificados los datos, cuidando que en el recuadro “method” este seleccionado “natural breaks (jenk)”, y luego ok.

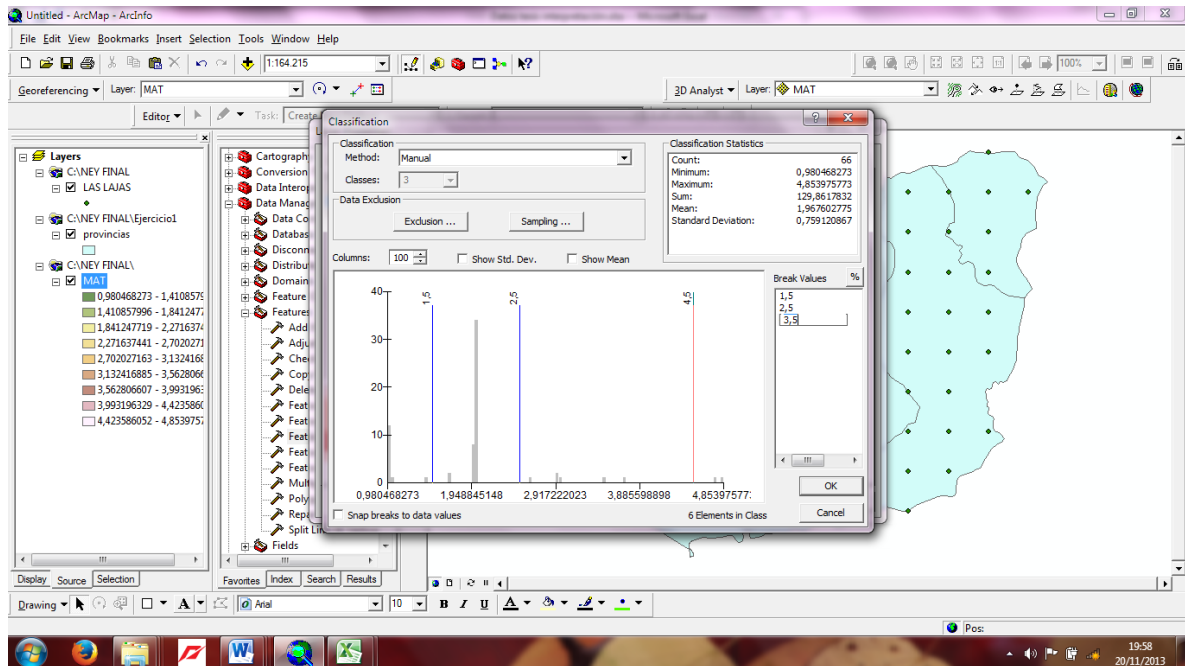


Figura 20. Elegir el intervalo según el campo y número de datos como estén clasificados.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 MAPAS DE LOS NIVELES DE LOS ELEMENTOS DE LA ZONA EN INVESTIGACIÓN

4.1.1 MAPA DE TEXTURAS

Se observa en el cuadro 7 y figuras 21 y 22 las clases texturales que existen en los suelos del cantón Las Lajas.

Según los resultados obtenidos estos suelos son de tendencia franco arenoso con 51,47% y con un representativo 33,82% franco, dando origen a suelos equilibrados en proporciones óptimas que gozan de efectos favorables por facilitar la aireación del suelo propicio para la respiración de las plantas, además de no retener grandes cantidades de agua por la capacidad que tiene la arena de filtrar líquidos fácilmente, evitando el encharcamiento causadas por las precipitaciones exageradas que se pueden producir en ciertas épocas del año, tienen un porcentaje de porosidad que pueden ir desde el 35-50% como lo asegura Sánchez (2007).

Además confirma que en mayoría de los suelos la densidad real varía entre 2,6 a 2,7g/cc y la densidad aparente en suelos de textura francos y franco arenoso oscilan entre 1,3 a 1,4 g/cc y la clase textural franco limoso valores de 1,2 a 1,3 g/cc, dado que la densidad aparente va a depender de la textura, porosidad, contenido de materia orgánica y estructura del suelo.

El contenido de arcilla presente en los suelos de tendencia franco facilitan la capacidad de intercambio catiónico, la retención de nutrientes y agua, no provocan asfixia dentro del suelo por la acción del limo como lo aseguran Gisbert, Ibáñez y Moreno (2009), cabe decir que en nuestro caso es mínimo y en cantidades que no afectan porque sólo forma parte del 1,47% de la clase textural franco limoso,

En general se puede establecer que los suelos del cantón Las Lajas poseen una adecuada agregación natural de las partículas del suelo favoreciendo a su estructura, permeabilidad capacidad de retención de agua, aireación y nutrientes por las características que mencionan Jiménez y Hernández (2008).

Cuadro 7. Superficie de distribución y representación en porcentajes de las clases texturales del cantón Las Lajas, 2013.

Interpretación	Distribución (km²)	Área representación (%)
Franco	101,99	33,82
Franco arcillo arenoso	17,74	5,88
Franco arenoso	155,21	51,47
Franco arcilloso	22,17	7,35
Franco limoso	4,43	1,47

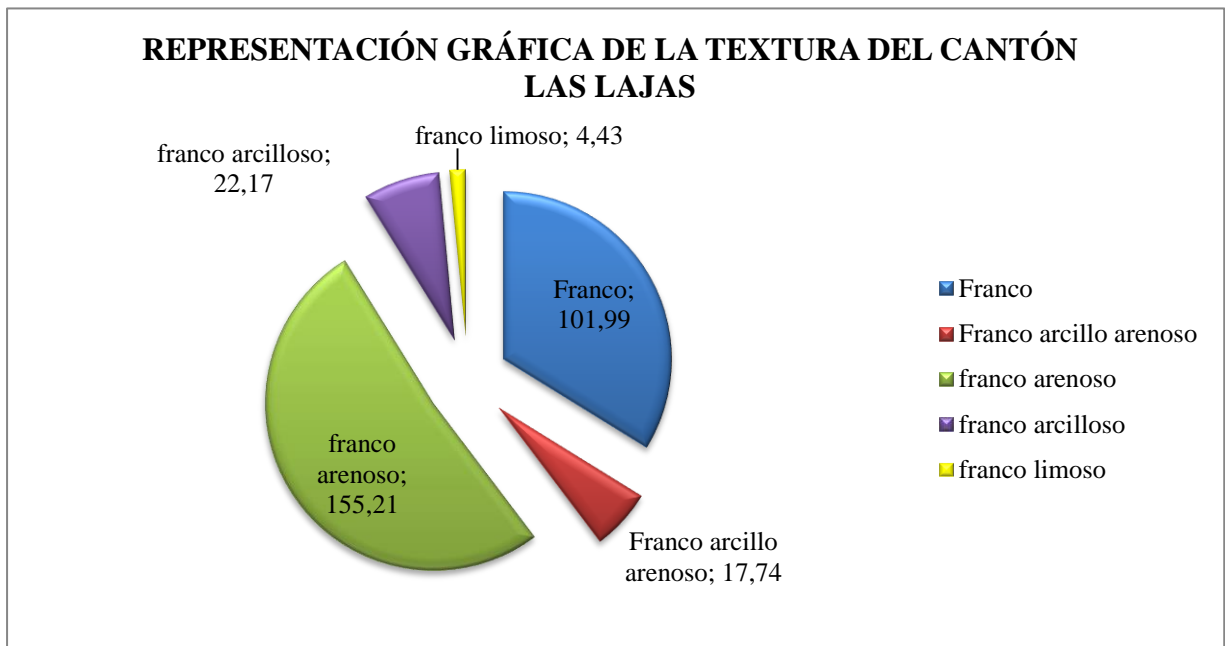


Figura 21. Distribución gráfica en km² de las clases texturales en el cantón Las Lajas.

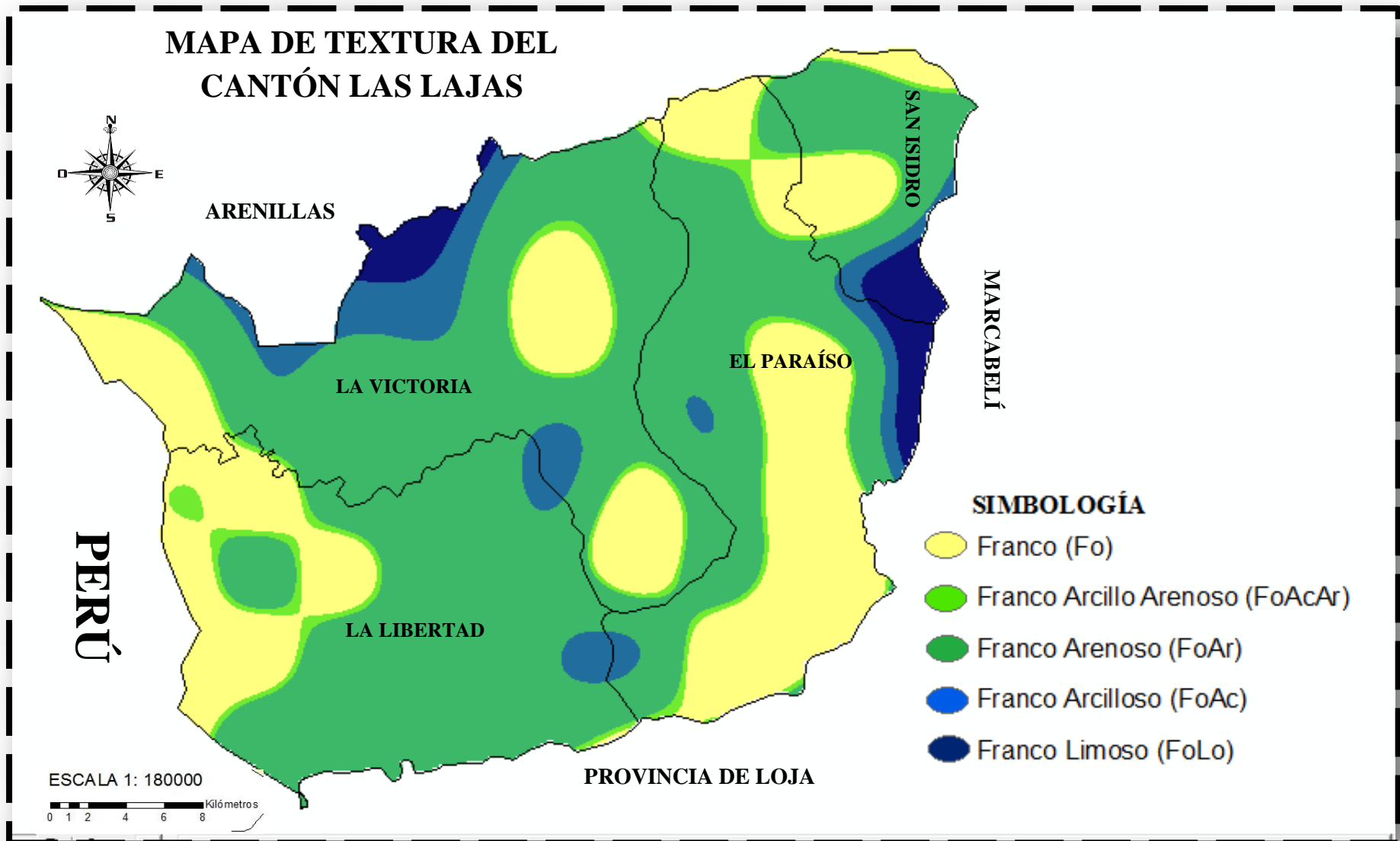


Figura 22. Mapa de las clases texturales y su distribución en el cantón Las Lajas, 2013.

4.1.2 MAPA DE LOS NIVELES DE CARBONO ORGÁNICO

Se observa en el cuadro 8 y figuras 23 y 24 los diferentes niveles en que se presenta el carbono orgánico en los suelos del cantón Las Lajas.

La mitad de la materia orgánica es Carbono Orgánico aproximadamente el 50% según Conti (2009), lo cual concuerda con nuestros resultados porque se refleja el 62,12% de materia orgánica baja, que representa más de la mitad del área de influencia, comparado con un 33,82% Carbono orgánico bajo, debido al escaso almacenamiento de energía de los organismos, por la poca actividad microbiana que descomponen residuos vegetales y animales, generalmente este tipo de suelos tienen poca influencia en las propiedades y proceso de formación del suelo, es decir existen pequeñas fracciones que intervienen en los procesos de descomposición, mineralización y humificación de los residuos orgánicos como lo señala Corbella y Fernández (2009).

Cuadro 8. Superficie de distribución y representación en porcentajes de Carbón Orgánico del cantón Las Lajas, 2013

Interpretación	Distribución en Km ²	Área representada (%)
Muy bajo	168,51	55,88
Bajo	101,99	33,82
Medio	17,74	5,88
Alto	13,30	4,41
Total	301,55	100,00

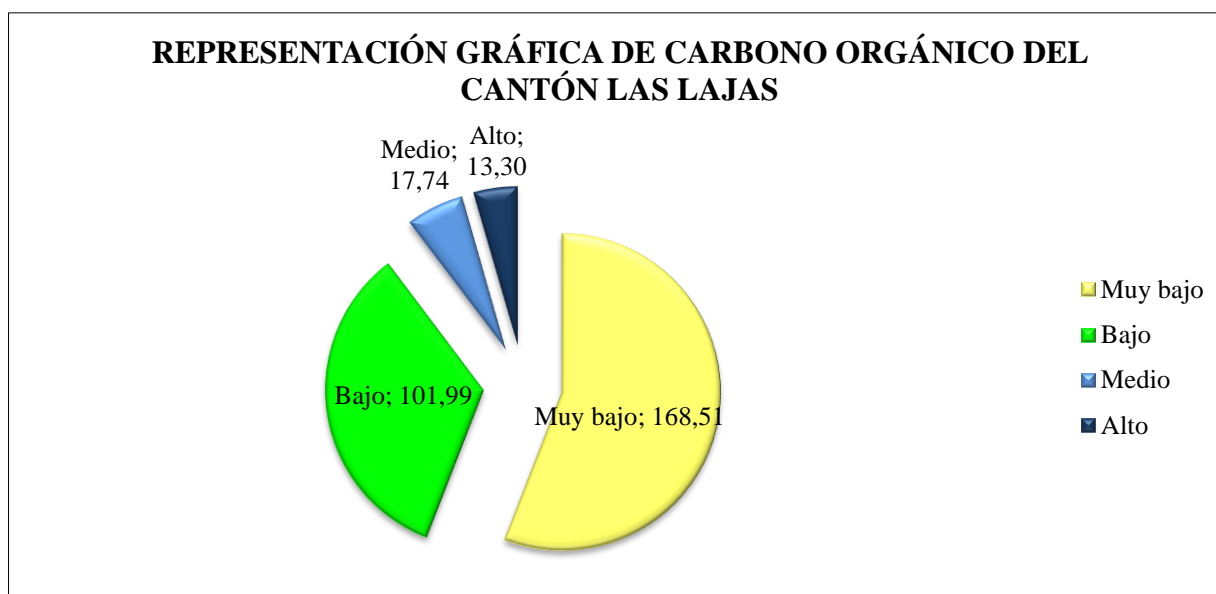


Figura 23. Distribución gráfica en km² de carbono orgánico en el cantón Las Lajas, 2013

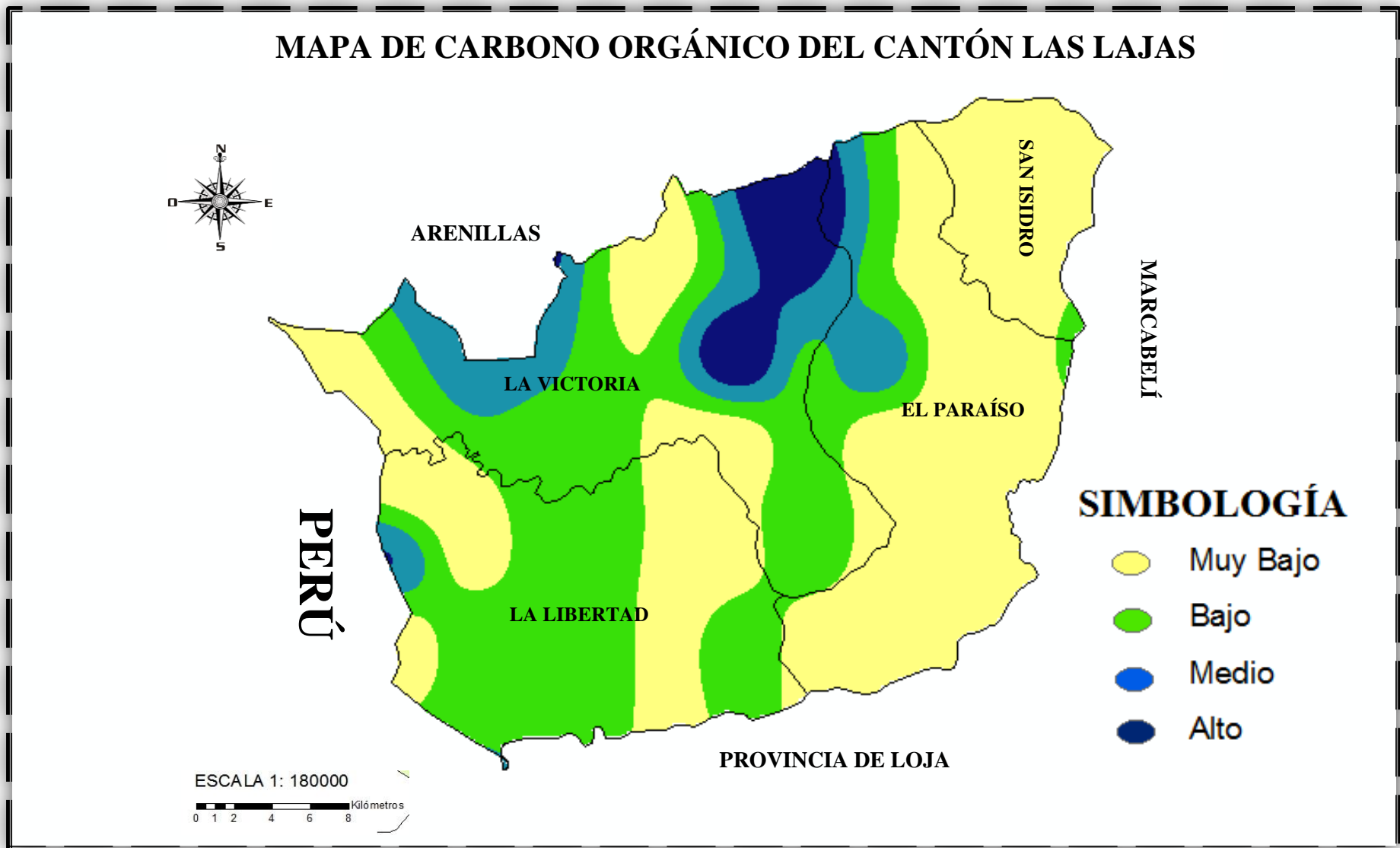


Figura 24. Mapa de los niveles de carbono orgánico del cantón Las Lajas. 2013

4.1.3 MAPA DE LOS NIVELES DE LA MATERIA ORGÁNICA

Se observa en el cuadro 9 y figuras 25 y 26 los diferentes niveles en que se presenta la materia orgánica en los suelos del cantón Las Lajas.

Los resultados pueden obedecer a los factores tanto físicos, químicos y biológicos que influyen en la descomposición de los restos animales y vegetales acumulados en la capa superficial del suelo, debido a que pocos organismos se alojan en el suelo y la mayoría de los suelos poseen bajas concentración de Materia orgánica como lo afirma Corbella y Fernández (2009) y nuestro suelo no es la excepción.

Los factores ambientales conocidos como externos y el suelo afectan la acumulación de los residuos orgánicos, tales como la temperatura, la humedad, la aireación y la acidez, la exposición del suelo a temperaturas altas aumenta la mineralización y disminuye la formación de humus, el exceso de humedad, un medio con deficiente flujo de aire en el sustrato suelo, el pH ácido afectarían la acumulación de Materia Orgánica como lo certifica Conti (2009), concordando con nuestro estudio porque tenemos suelos con tendencia muy ácida con 75% y contenidos de materia orgánica de 69,12 % bajo y 26,47 muy bajo.

La Materia Orgánica es fuente de nutrientes que a través de la mineralización se liberan en forma inorgánica: nitrógeno y fósforo, evidenciando en nuestro estudio porque casi en su totalidad (98,53% nitrógeno bajo) que coincide con la cantidad de MO, no así con el fósforo que puede ser por otras causas.

Como el cantón Las Lajas posee climas cálidos sería un factor delimitante las fuertes insolaciones que se producen, la acción del hombre sería otro componente para verse afectado, ya sea por labores agrícolas o pecuarias sin asesoramiento profesional.

El relieve del cantón reflejaría adicionalmente el bajo nivel de Materia Orgánica, por lo general a pendientes fuertes estarían sujetas a erosión, la tala de bosques, y en general el impacto ecológico que causa el hombre.

A no ser por la arcilla presente en la textura franco serían suelos sin agregados y sin estructuración, no reteniendo agua y sin equilibrar la porosidad y aireación del suelo de acuerdo a Conti (2009).

Cuadro 9. Superficie de distribución y representación en porcentajes de la materia orgánica del cantón Las Lajas, 2013

Rangos MO (%)	Interpretación	Distribución (km ²)	Área representada (%)
<2	Muy bajo	79,82	26,47
2 – 4	Bajo	208,42	69,12
4 – 6	Medio	13,30	4,41
Total		301,55	100

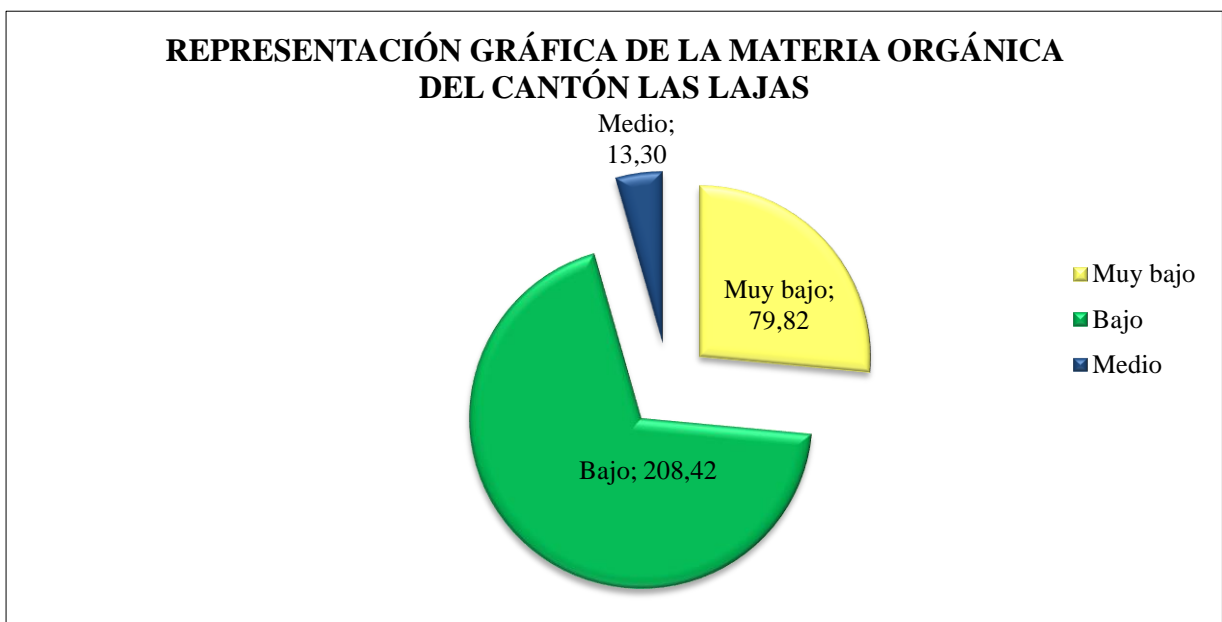


Figura 25. Distribución gráfica en km² de la materia orgánica en el cantón Las Lajas, 2013.

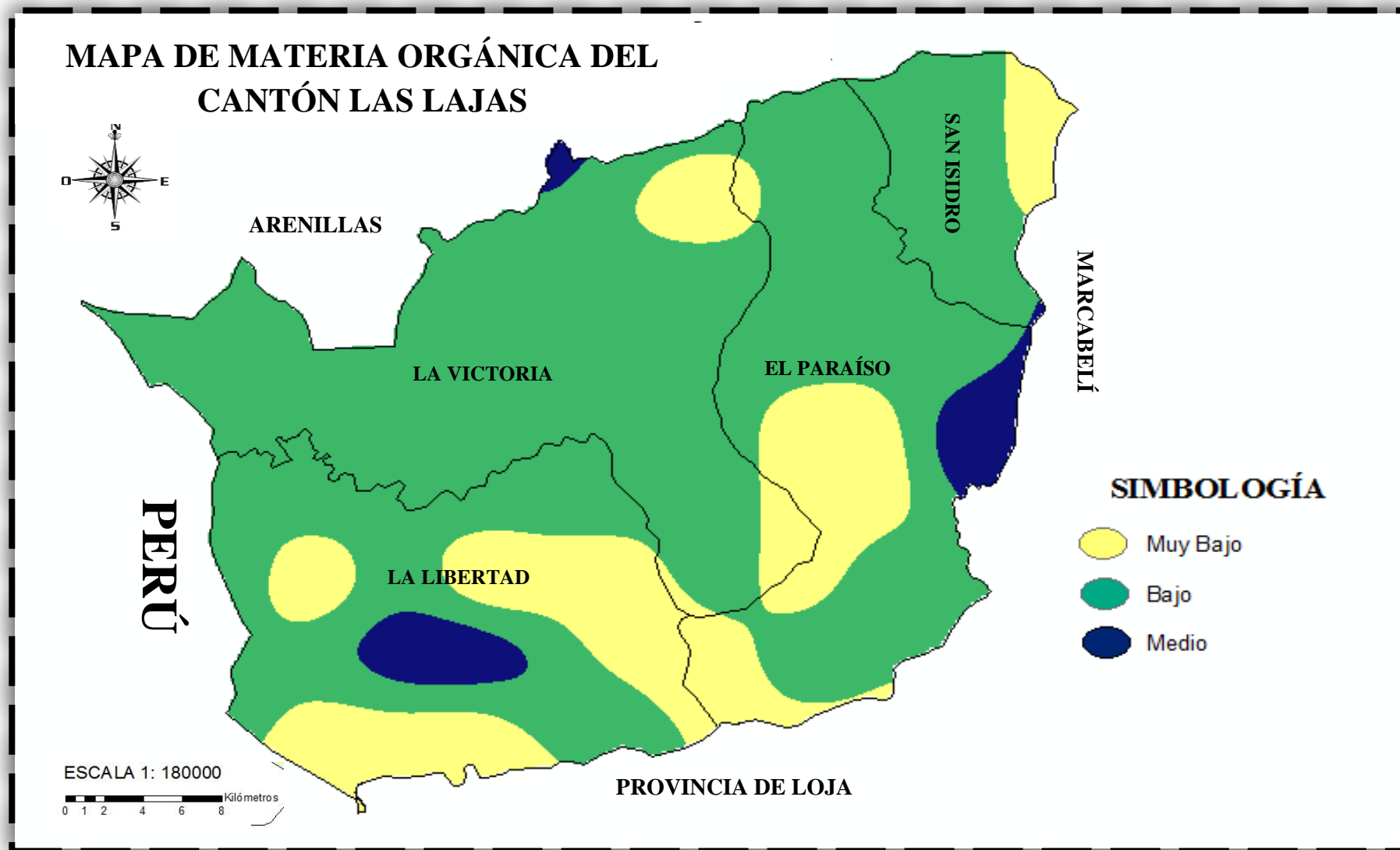


Figura 26. Mapa de los niveles de la materia orgánica y su distribución en el cantón Las Lajas, 2013.

4.1.4 MAPA DE LOS NIVELES DE LA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO (CIC)

Se observa en el cuadro 10 y figuras 27 y 28 los diferentes niveles en que se presenta la CIC en los suelos del cantón Las Lajas.

Los resultados obtenidos de la CIC en el cantón Las Lajas pueden darse por la poca presencia de arcilla (7,35% de clase textural franco arcilloso y en cantidades proporcionadas formando parte de suelos francos, franco arenosos y franco limosos), además debido a la escasa cantidad de materia orgánica que tiene la característica de poseer humus que al igual que la arcilla pero con menor intensidad tiene la característica de actuar como un coloide para capturar y retener iones positivos de la solución suelo, conforme lo indica la página web Segismundo (2009).

La materia orgánica solo enlaza 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^{++} , el 55,88% de CIC de interpretación medio puede incrementarse con la incorporación de Materia orgánica manejando al suelo correctamente creando programas de abonamiento con materiales orgánicos que sean de la misma zona.

Cuadro 10. Superficie de distribución y representación en porcentajes de la CIC del cantón Las Lajas, 2013

Rangos (me/100g)	Interpretación	Distribución (km ²)	Área representada (%)
9 – 18	Bajo	128,60	42,65
18 – 27	Medio	168,51	55,88
27 – 36	Alto	4,43	1,47
	Total	301,55	100

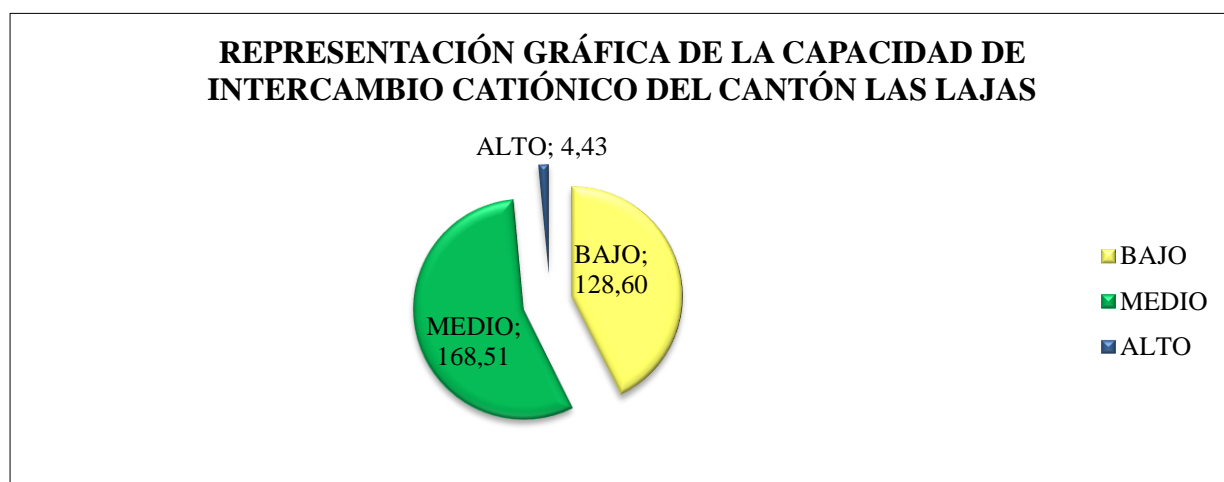


Figura 27. Distribución gráfica en km² de la CIC en el cantón Las Lajas, 2013.

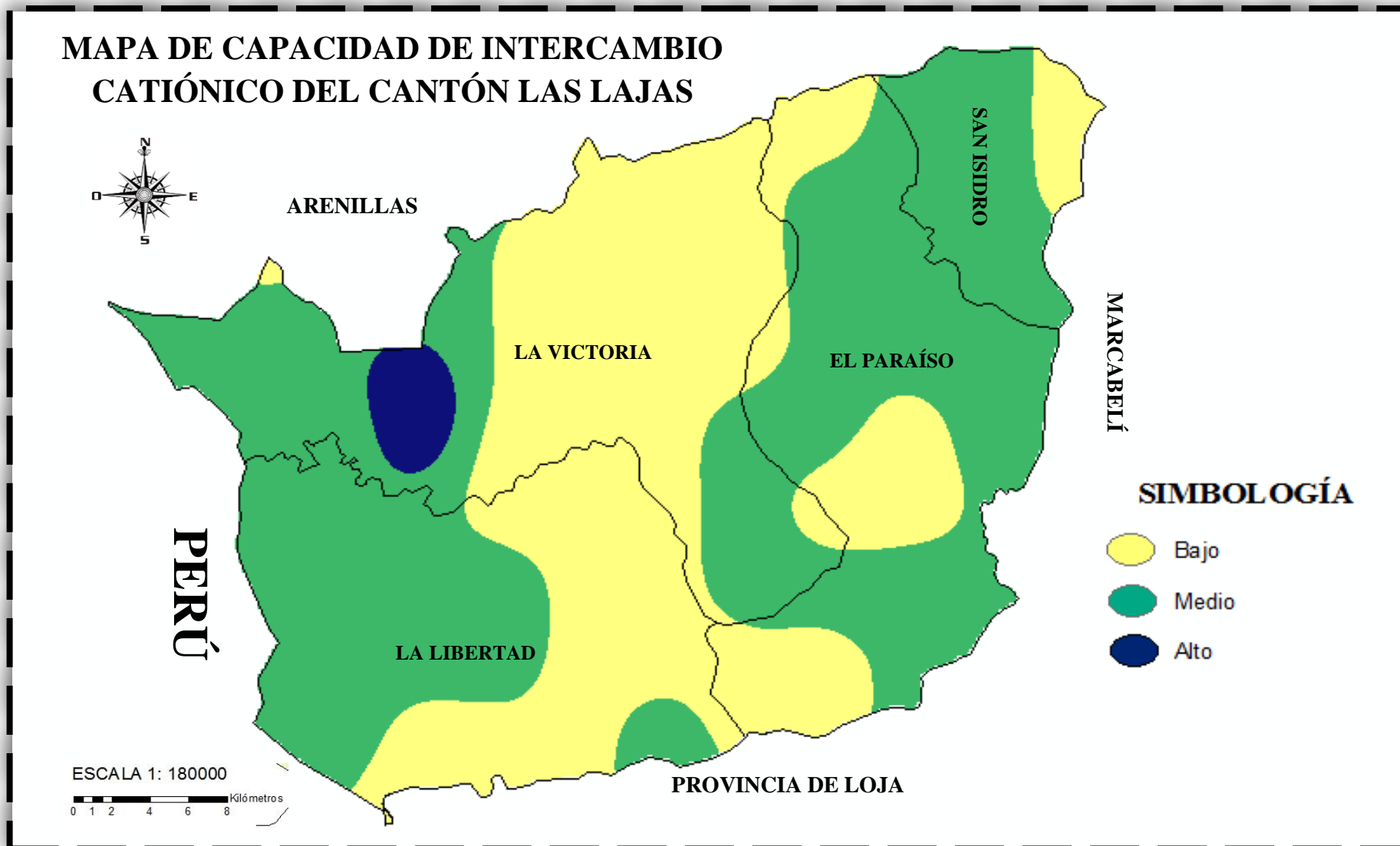


Figura 28. Mapa de los niveles de la CIC del cantón Las Lajas, 2013.

4.1.5 MAPA DE LOS NIVELES DE pH

Se observa en el cuadro 11 y figuras 29 y 30 los diferentes niveles de pH en los suelos del cantón Las Lajas.

La acidez se provoca cuando existen altas precipitaciones, ácidos orgánicos e inorgánicos producto de la descomposición de la materia orgánica en forma de ácidos orgánicos como inorgánicos, lo que no concuerda con los resultados obtenidos porque existe poca actividad biológica en descomposición (MO), además con respecto a las precipitaciones en este cantón se registran de 40 a 425 mm promedio anual, que es muy poco como para provocar la acidez y la pérdida de bases intercambiables por lixiviación, pero bien se pueden dar si son suelos desnudos y con pendientes pronunciadas que con las pocas precipitaciones lavan gran cantidad de bases cambiables, justificando así el 75% del área en estudio con pH muy ácido.

Mencionar que la acidez puede estar provocándose por ácidos formados en el suelo como el SO_4H_2 y NO_3H que son potentes reservorios de H^+ , otra fuente son los óxidos hidratados como el hierro y el aluminio o por acción del lavado que han sido disueltas por ácidos percolantes que son removidas en las aguas de drenaje y como tenemos suelos con pendientes muy pronunciadas como es en este cantón fácilmente quedan expuestas por erosión hídrica.

Además para manejar estos suelos se debe incorporar bases intercambiables como el Ca, Mg, K y Na, que ayudará a la reducción de la acidez y aumento de la alcalinidad. Uno de los procesos de formación de bases es el intemperismo ya que extraen cationes cambiables de los minerales y los hacen aprovechables por adsorción.

Otro proceso es la adición de materiales que contienen bases tales como las calizas; las aguas de riego son otro factor ya que el agua contiene sales minerales de diferente tipo, siendo sus cationes adsorbidos por los coloides del suelo. Las condiciones que permiten a las bases intercambiables permanecer en el suelo aumentarán también los valores de Ph.

Es preocupante tener suelos ácidos pero para este tipo de problemas se debe encalar para mejorar la agregación de las partículas que inciden en un buen desarrollo de la estructura, permitiendo favorables condiciones de aireación y humedad, aumento de oxidrilos OH^- y disminución de H^+ en la solución del suelo.

Cuadro 11. Superficie de distribución y representación en porcentajes del pH del cantón Las Lajas, 2013.

Rangos	Clasificación	Distribución (km ²)	Área representada (%)
<4,0	Extremadamente Ácido	8,87	2,94
4,0 - 5,2	Muy ácido	226,16	75,00
5,3 - 6,5	Ácido	53,21	17,65
6,6 - 7,4	Prácticamente neutro	13,30	4,41
Total		301,55	100,00

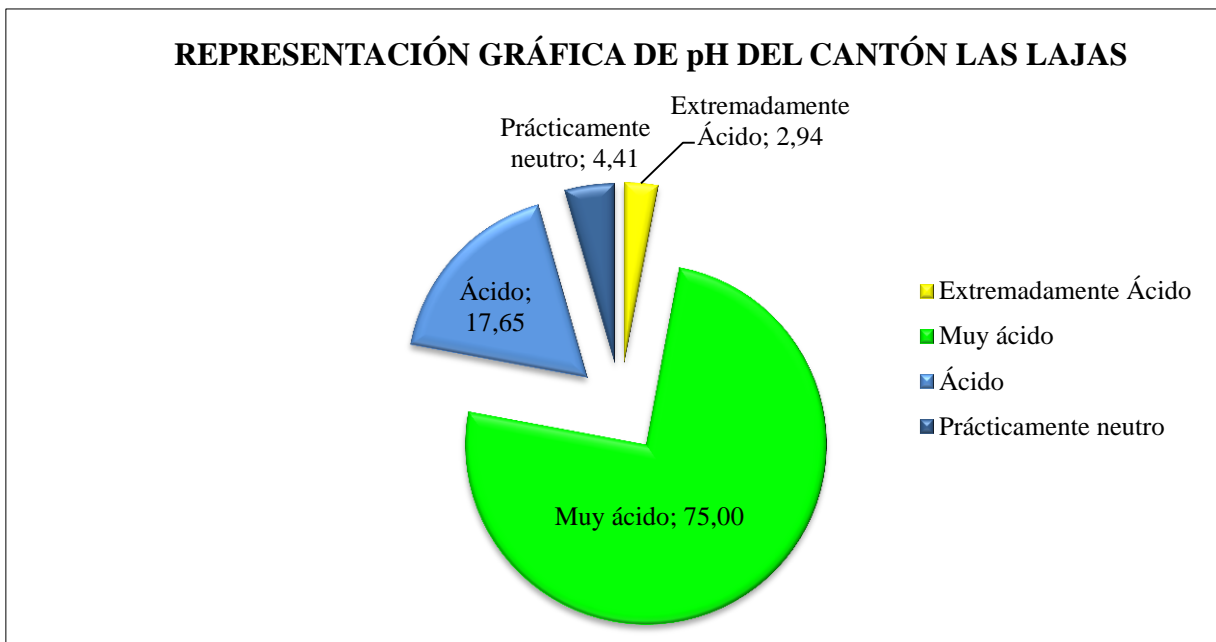


Figura 29. Distribución gráfica en km² del pH en el cantón Las Lajas, 2013

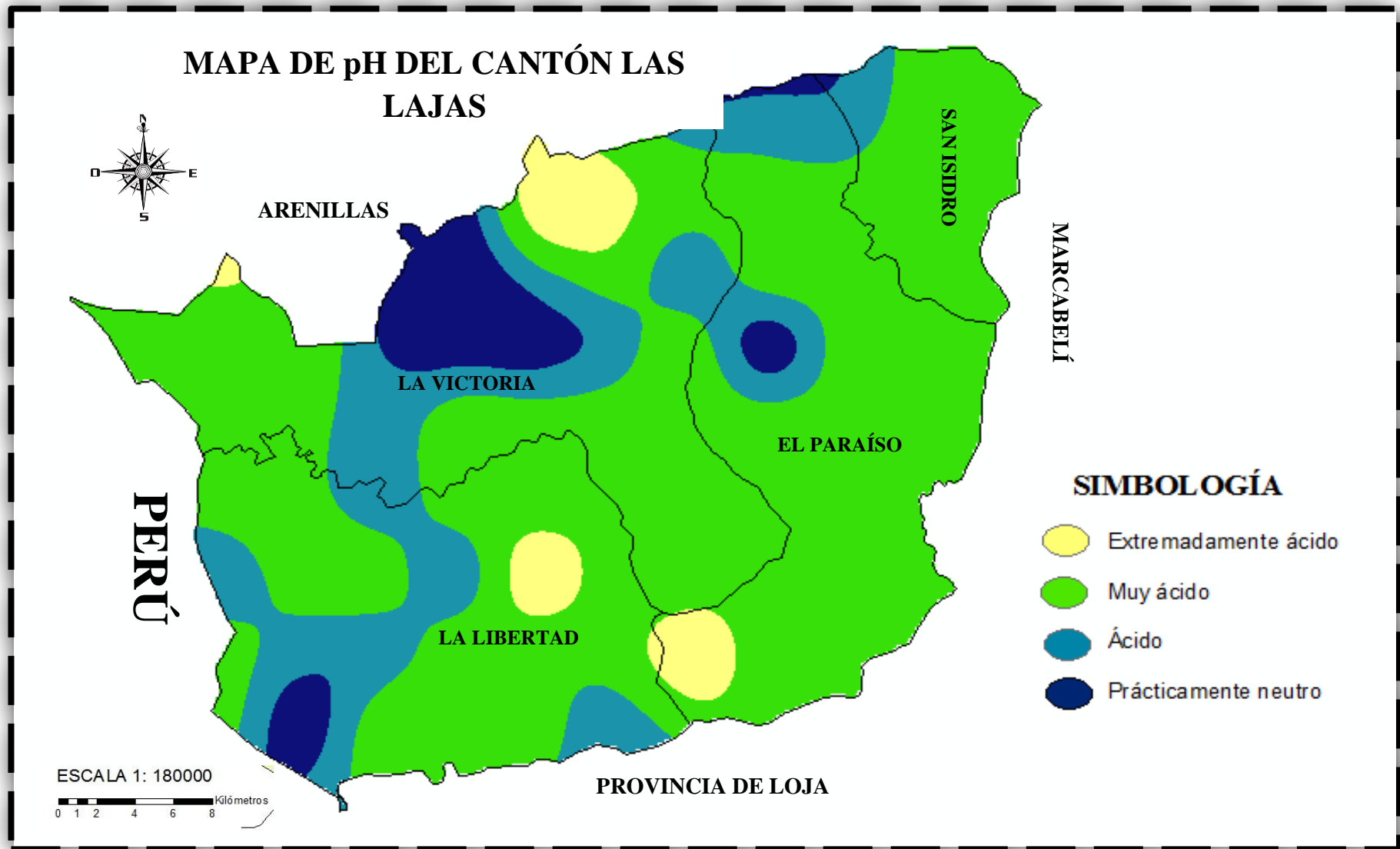


Figura 30. Mapa de los niveles de pH del cantón Las Lajas, 2013.

4.1.6 MAPA DE LOS NIVELES DE NITRÓGENO

Se observa en el cuadro 12 y figuras 31 y 32 los diferentes niveles de nitrógeno en los suelos del cantón Las Lajas.

El contenido de Nitrógeno se relaciona al contenido de Materia Orgánica que presenta un 69,12% en condiciones de tipo bajo, lo cual se producen pocas reacciones de tipo bioquímico para producir la descomposición de MO, esto refleja la casi totalidad del suelo con un 98,53% que representa al nitrógeno en estado muy bajo. Sin estas condiciones los microorganismos para descomponer dicha materia biológica no tienen un medio adecuado para realizar su actividad y poder desarrollar sus actividades microbianas. Es decir el proceso de mineralización donde los microorganismos del suelo descomponen la MO para obtener su energía no se produce según lo analiza Iñiguez (2007).

El nitrógeno en forma inorgánica se encuentra en pequeñas fracciones es decir las formas de NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- que son más utilizadas en el campo de la fertilidad del suelo, por lo cual añadiendo este elemento utilizando fertilizantes nitrogenados, de los cuales tenemos fuentes amoniacales como la urea, nitrato de amonio, nitrato de amonio y calcio, sulfato de amonio; fuentes nítricas como nitrato de sodio, nitrato de potasio y nitrato de calcio; y otras fuentes de energía lenta como urea recubierta de azufre y parafina se puede incrementar los niveles de este elemento.

También se pueden utilizar fuentes nitrogenados de origen orgánico como: estiércoles, residuos de cosechas, compost, humus de lombriz, vióles, gallinaza, bokashes y micorrizas, todas con diferentes purezas por lo que se necesitan en cantidades grandes y urgentemente.

Además el nitrógeno se lo puede captar por medio de la fijación simbiótica con microorganismos que fijan el nitrógeno con las leguminosas, los cuales pueden ser las bacterias del género *Rizobium* con sus especies *R. meletoti*, *R. trifolii*. Estas bacterias forman nódulos en las raíces los cuales captan el nitrógeno de la atmosfera, haciéndose disponible para las plantas, por medio de un proceso de tipo simbiótico.

Cuadro 12. Superficie de distribución y representación en porcentajes de los niveles de nitrógeno en el cantón Las Lajas, 2013

Rangos (ug/ml)	Interpretación	Distribución (km ²)	Área representada (%)
<20	Muy bajo	297,11	98,53
20-40	Bajo	4,43	1,47
Total		301,545	100

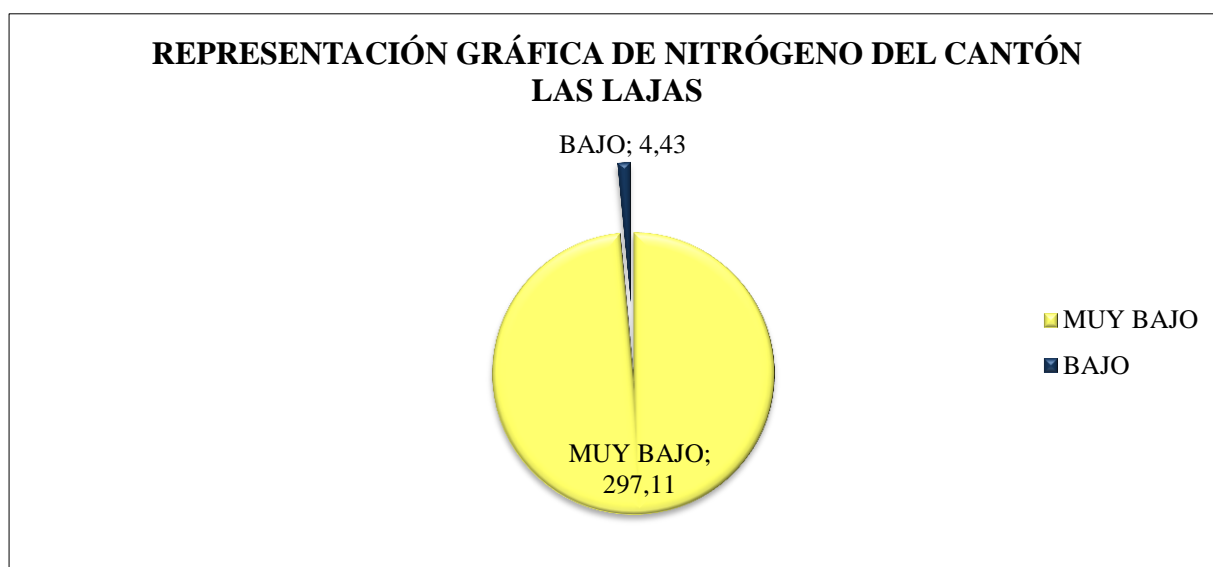


Figura 31. Distribución gráfica en km² de los niveles de nitrógeno en el cantón Las Lajas, 2013.



Figura 32. Mapa de los niveles de nitrógeno y su distribución en el cantón Las Lajas, 2013.

4.1.7 MAPA DE LOS NIVELES DE FÓSFORO

Se observa en el cuadro 13 y figuras 33 y 34 los diferentes niveles de fósforo en los suelos del cantón Las Lajas.

Los altos contenidos de fósforo pueden ser porque la fuente de este elemento es de origen inorgánico, según (Sonzano 2010) dice que en suelos muy ricos la concentración puede llegar hasta (1 ppm) y en suelos pobres a 0,1 ppm en forma soluble, además añade que las formas solubles de fósforo en el suelo son los fosfatos diácidos (H_2PO_4^-) y monoácidos (HPO_4^{2-}). La concentración de los iones fosfatos en solución está relacionada con el pH de la misma. El ion H_2PO_4^- es favorecido por los pH bajos, mientras que el ion HPO_4^{2-} por los pH más altos. Consecuentemente nuestros suelos son de reacción muy ácida.

La disponibilidad del fosforo intercambiable es más lenta porque depende del pH, Sonzano (2010) comenta que a pH ácidos aumentan las cargas positivas de los coloides y por ende, aumenta la adsorción, en este caso con respecto al fósforo la arcilla está presente en cantidades medias con texturas de tendencia franca como ya hemos mencionado en los apartados anteriores y por estas causas se puede dar este caso, con respecto a los coloides orgánicos puede verse su efecto retrasado por la poca MO existente en estos suelos, el mismo autor afirma que fósforo puede estar adsorbido directamente por los bordes de las arcillas con cargas positivas como la caolinita a bajos valores de pH, o por uniones que usan al calcio como puente en las arcillas de tipo 2:1. También puede estar adsorbido por los óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio, que tienen un poder de fijación mucho mayor que el de las arcillas. Por lo cual este fósforo que se encuentra en cantidades muy altas puede estar fácilmente aprovechable de encontrarse en estas condiciones.

Sin embargo la insolubilidad puede afectar cuando se presenten fosfatos cálcicos en medio alcalino, o como fosfatos de hierro y aluminio en medio ácido. El fosforo reacciona en este medio en forma de compuestos fosforados de baja solubilidad por estas causa (Sonzano 2010) afirma que a lo largo del tiempo que el fósforo permanece en el suelo está en forma menos soluble, y por ende menos disponible para la planta tienden a aumentar.

Por lo cual hay que aprovechar esta fuente de fósforo manejando correctamente el pH, utilizando abonos orgánicos y encalar para aumentar nitrógeno y lograr que el fósforo sea disponible para las plantas.

Cuadro 13. Superficie de distribución y representación en porcentajes de los niveles de fósforo en el cantón Las Lajas, 2013

Rangos (ug/ml)	Interpretación	Distribución (km ²)	Área representada (%)
10,00- 20,00	Bajo	31,04	10,29
20,00- 30,00	Medio	4,43	1,47
30,00- 40,00	Muy Alto	266,07	88,24
Total		301,55	100,00

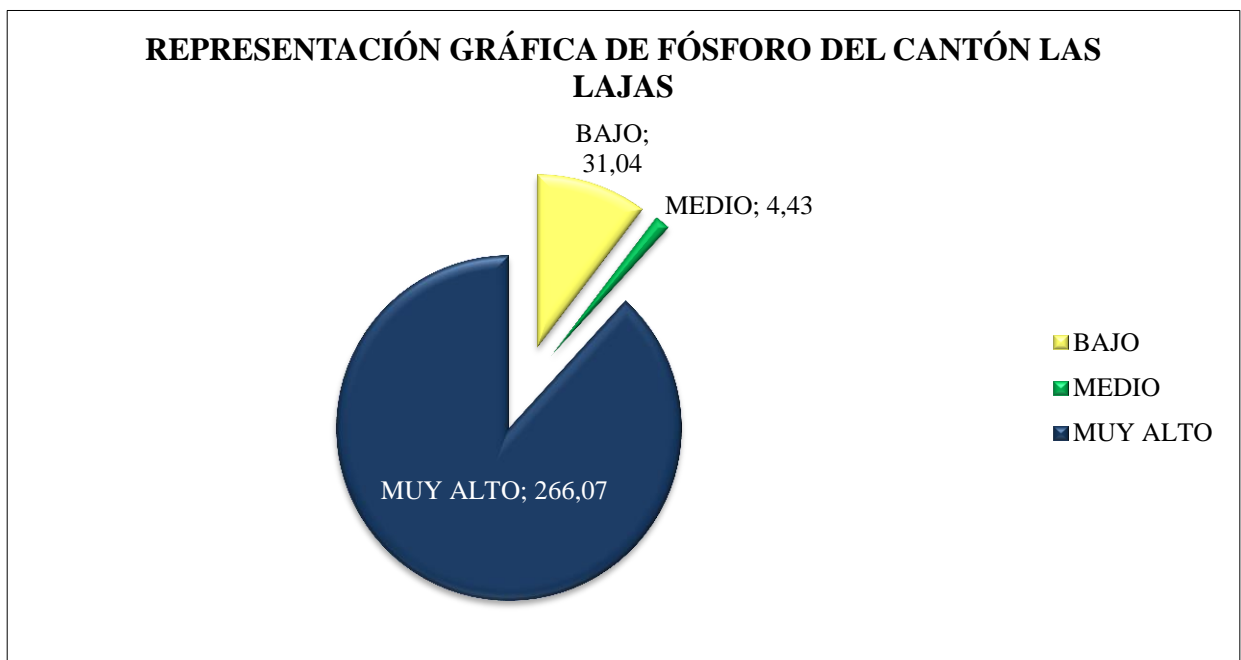


Figura 33. Distribución gráfica en km² de los niveles de fósforo en el cantón Las Lajas, 2013

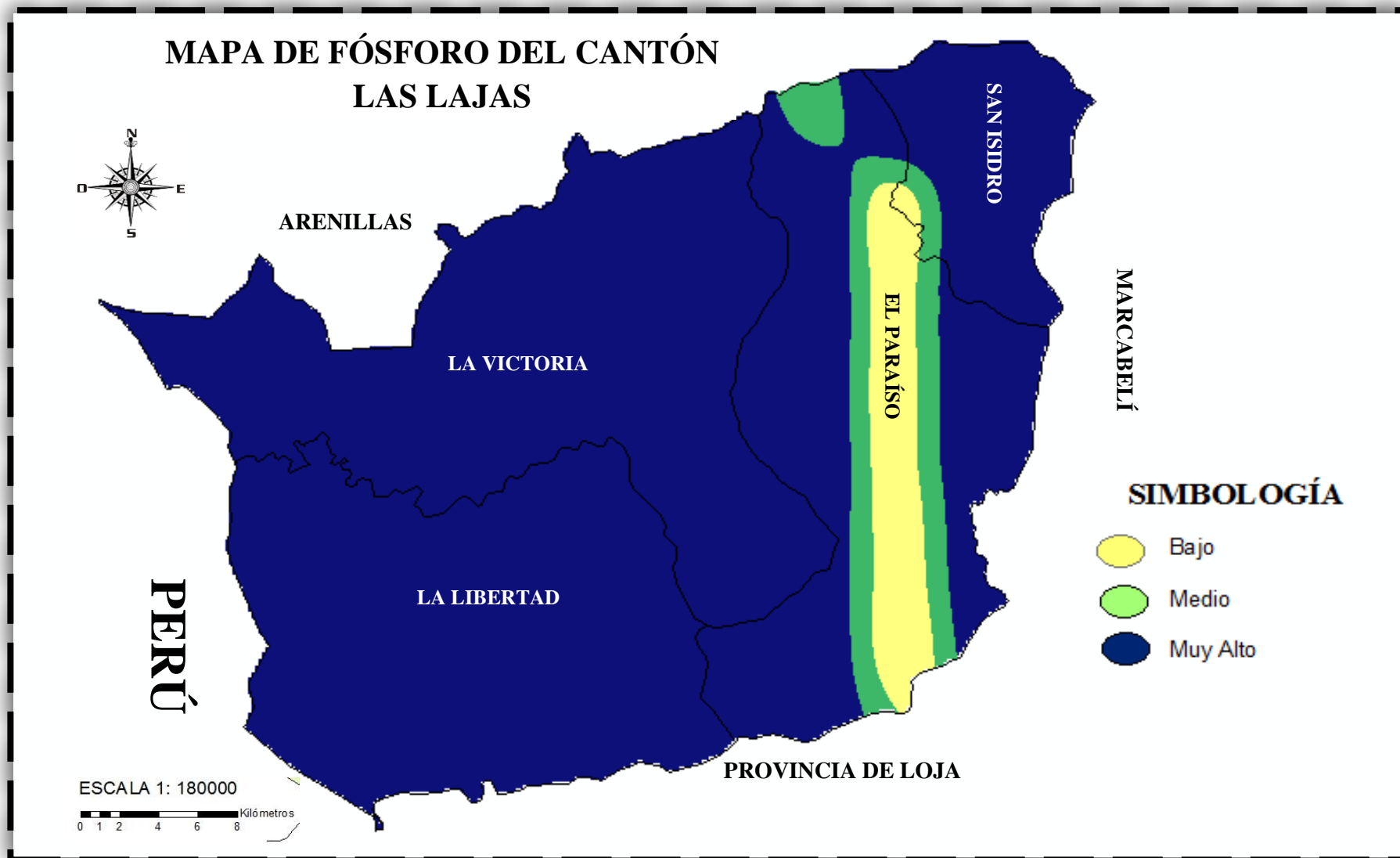


Figura 34. Mapa de los niveles de fósforo del cantón Las Lajas, 2013.

4.1.8 MAPA DE LOS NIVELES DE POTASIO

Se observa en el cuadro 14 y figuras 35 y 36 los diferentes niveles de potasio en los suelos del cantón Las Lajas.

Iñiguez (2007) asegura que el potasio se encuentra dos formas tanto orgánico como inorgánico, las formas inorgánicas se encuentran las rocas volcánicas (granito) estas son más ricas en potasio que las rocas sedimentarias (caliza), acotando que en la mayoría de los suelos arcillosos existen cantidades importantes de potasio, en tanto que en los suelos arenosos en los que predomina el cuarzo existe poco o nada de potasio.

Por tanto tenemos resultados de potasio variables teniendo una pequeña diferencia entre los niveles bajo (33,82%), medio (26,47%) y muy alto (27,94%), que puede ser porque este elemento se encuentra en la mayoría de los suelos en forma no disponible enlazados con minerales primarios como feldespatos y micas principalmente y minerales secundarios como arcillas tipo 2:1.

El potasio lentamente disponible se encuentra en minerales como la illita y montmorillonita pero la fijación se produce mayormente en suelos con buen contenido de potasio y bajo porcentaje de MO, favoreciendo de esta manera su disponibilidad.

El potasio rápidamente disponible se encuentra al que está asociado en las arcillas y materia orgánica, la concentración de K^+ en la solución suelo permanece constante, de tal manera que cuando la planta absorbe K^+ de la solución suelo disminuye su concentración, y el coloide arcillo-húmico libera rápidamente cierto número de K^+ , que pasan a la solución con el fin de mantener el equilibrio y se de una nutrición normal.

Por lo cual se hace importante una vez más la incorporación de Materia Orgánica para mantener el equilibrio conjuntamente con la arcilla, mayormente en las zonas que tenemos altos contenidos de potasio y bajos contenidos de MO que representa el 69,12% del total del área de influencia, como lo indican las figuras 15 y 25.

Cuadro 14. Superficie de distribución y representación en porcentajes de los niveles de potasio en el cantón Las Lajas, 2013

Rangos (ug/ml)	Interpretación	Distribución (km ²)	Área representada (%)
<50,00	Muy bajo	4,43	1,47
50,00- 100,0	Bajo	101,99	33,82
100,0- 150,0	Medio	79,82	26,47
150,0- 200,0	Alto	31,04	10,29
>200,0	Muy alto	84,26	27,94
Total		301,545	100

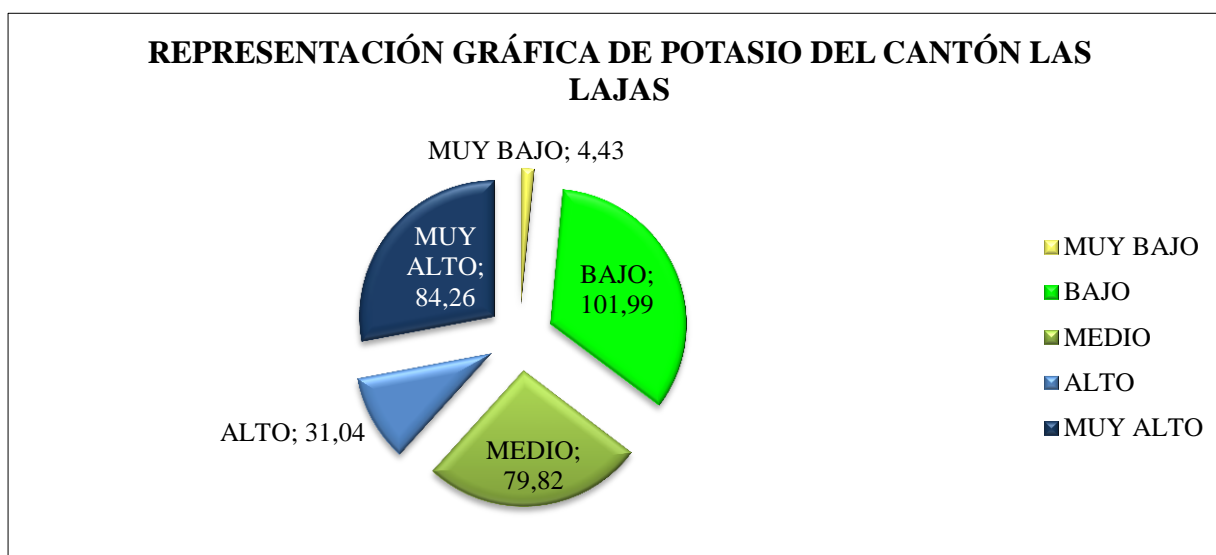


Figura 35. Distribución gráfica en km² de los niveles de potasio en el cantón Las Lajas, 2013.

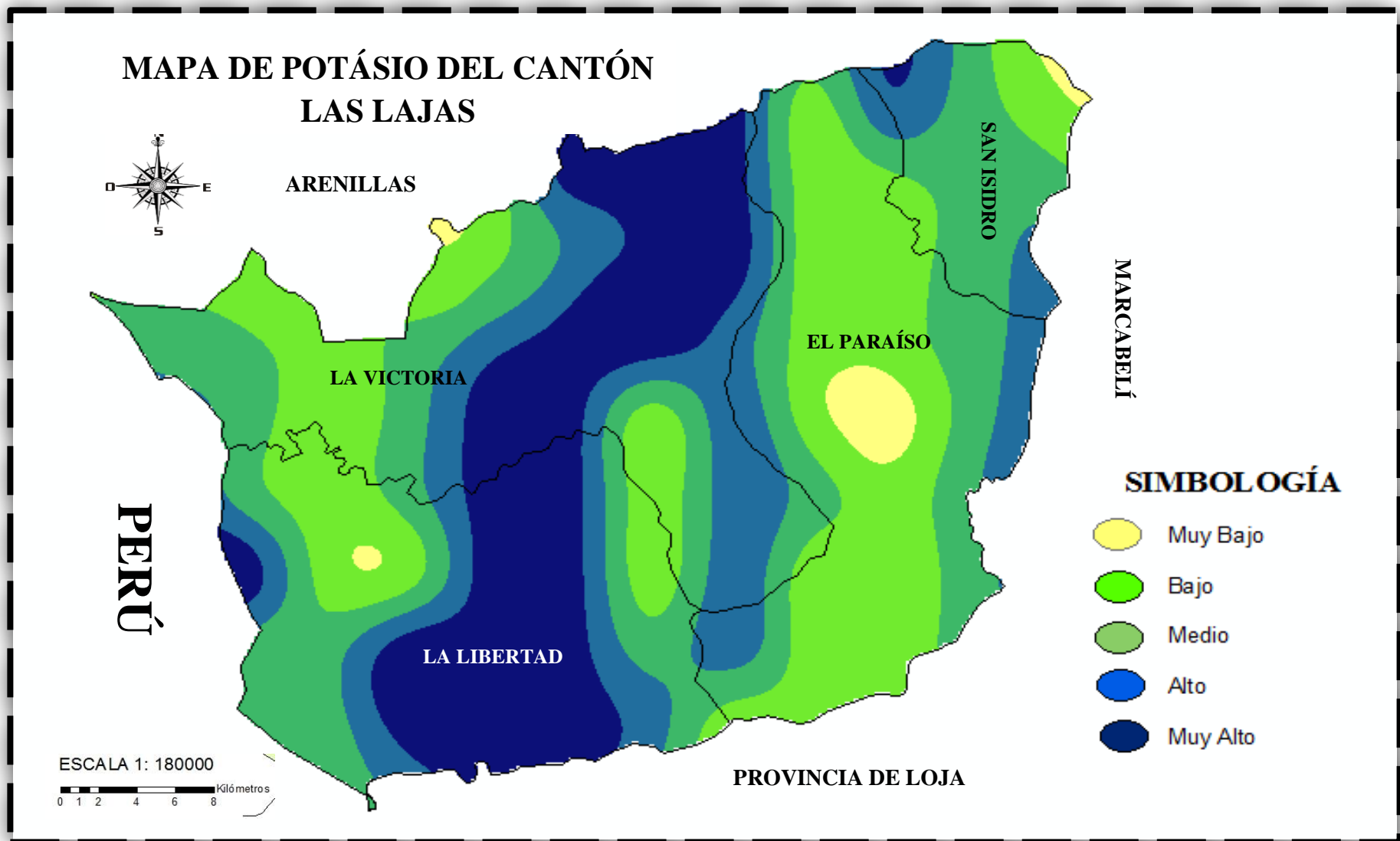


Figura 36. Mapa de los niveles de potasio del cantón Las Lajas, 2013.

4.1.9 MAPA DE LOS NIVELES DE HIERRO

Se observa en el cuadro 15 y figuras 37 y 38 los diferentes niveles de hierro en los suelos del cantón Las Lajas.

Este elemento se lo puede observar rápidamente en suelos de colores amarillo-pardo de las zonas templadas-frías se deben a la presencia de óxidos hidratados como la goetita. Debido a los resultados el 86,76% de hierro muy alto, concuerda con (Iñiguez, 2007) que menciona que este elemento se encuentra entre uno de los más abundantes en la corteza terrestre, además de encontrarse en los minerales biotita, hornblenda, augita, limonita. También se encuentra en el olivino, granate, ilmenita, magnetita y turmalina, aunque en muy bajas cantidades. Según GEO México (2007), afirma que goetita, hematita, maghemita, lepidocrocita, ferridrita se encuentran en forma insoluble y de forma soluble como Fe^{2+} . Altos niveles de hierro afectan la disponibilidad de fósforo.

Cuadro 15. Superficie de distribución y representación en porcentajes de los niveles de hierro en el cantón Las Lajas, 2013

Rangos (ug/ml)	Interpretación	Distribución (km ²)	Área representada (%)
15,00 -30,00	Bajo	13,3	4,41
31,10 - 45,00	Medio	4,43	1,47
45,10 - 60,00	Alto	22,17	7,35
>60,00	Muy Alto	261,63	86,76
Total		301,55	100

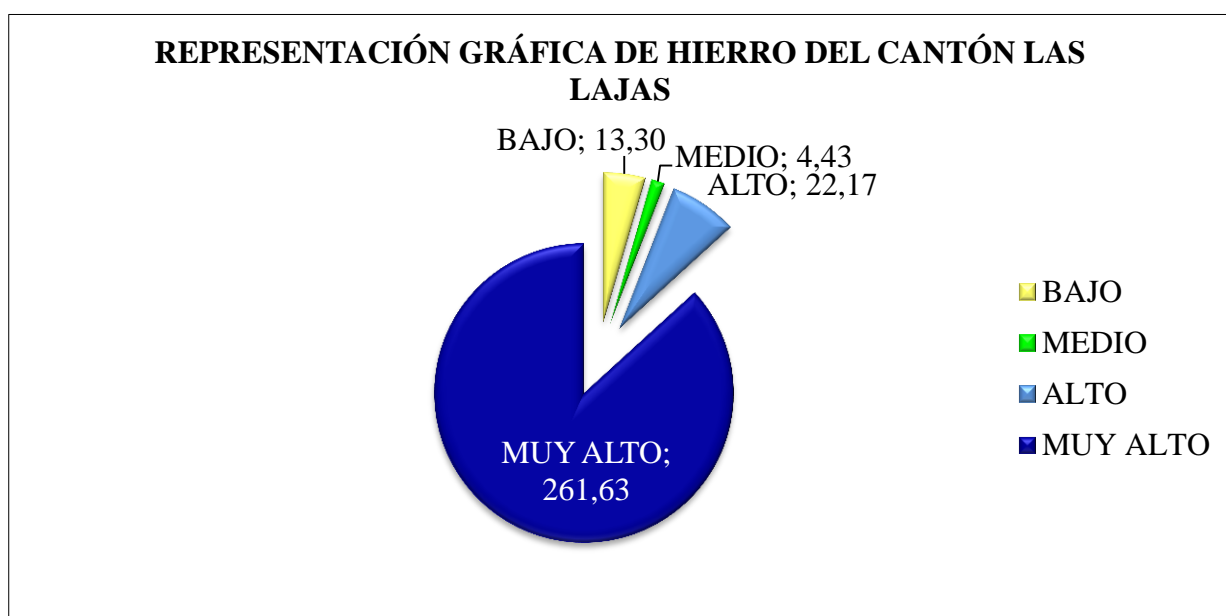


Figura 37. Distribución gráfica en km² de los niveles de hierro en el cantón Las Lajas, 2013

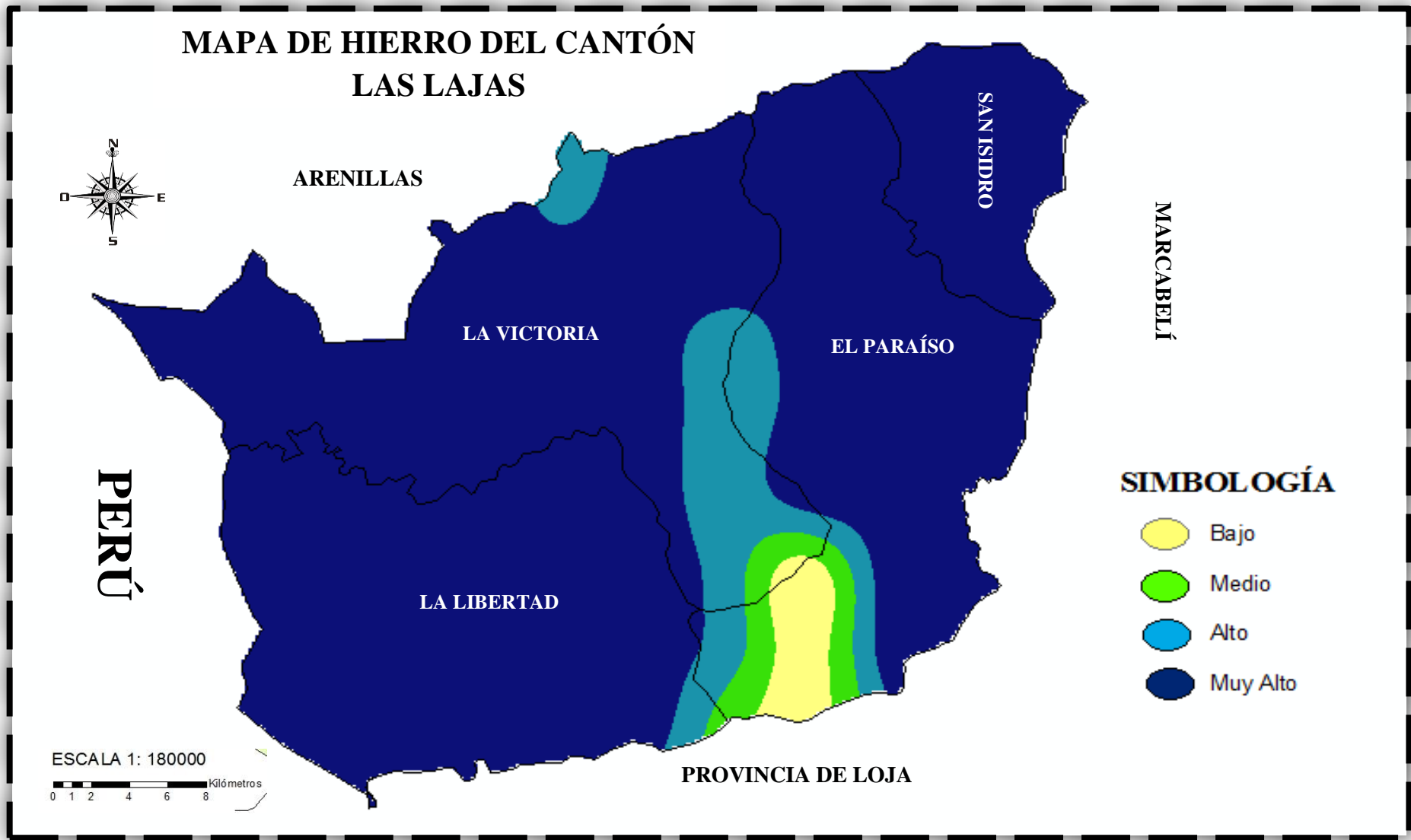


Figura 38. Mapa de los niveles de hierro del cantón Las Lajas, 2013.

4.1.10 MAPA DE LOS NIVELES DE COBRE

Se observa en el cuadro 16 y figuras 39 y 40 los diferentes niveles de cobre en los suelos del cantón Las Lajas.

Las proporciones de cobre se estabilizan dentro del rango de bajo y un nivel medio con 29,41 y 27,94% respectivamente y en proporciones muy bajas con 17,65% esto puede entenderse que el suelo se encuentra formando parte de las estructuras cristalinas de minerales primarios y secundarios, Iñiguez (2007) dice que el contenido de cobre asimilable depende, sobre todo, del lavado de los suelos y de su precipitación en los suelos alcalinos. La materia orgánica retiene el cobre como intercambio iónico y por quelación. El cobre se encuentra en la naturaleza en forma de sulfuros e Hidroxi-carbonatos. Además en la solución del suelo se halla formando complejos estables con las sustancias húmicas del suelo. Están presentes en los componentes más fácilmente edafizados y moderadamente estables de las rocas ígneas y en cantidades trazas en olivino, hornblenda, augita, biotita, anortita, andesita, albita, oligoclasa y ortoclasa. En la fase sólida del suelo se encuentra bajo forma cúprica, en menor porcentaje se encuentra en la materia orgánica como lo advierte GEO México (2007).

Cuadro 16. Superficie de distribución y representación en porcentajes de los niveles de cobre en el cantón Las Lajas, 2013.

Rangos (ug/ml)	Interpretación	Distribución (km ²)	Área representada (%)
< 1,50	Muy bajo	53,21	17,65
1,50 – 3,00	Bajo	88,69	29,41
3,00 – 4,50	Medio	84,26	27,94
4,50 – 6,00	Alto	48,78	16,18
> 6,00	Muy alto	26,61	8,82
Total		301,55	100,00

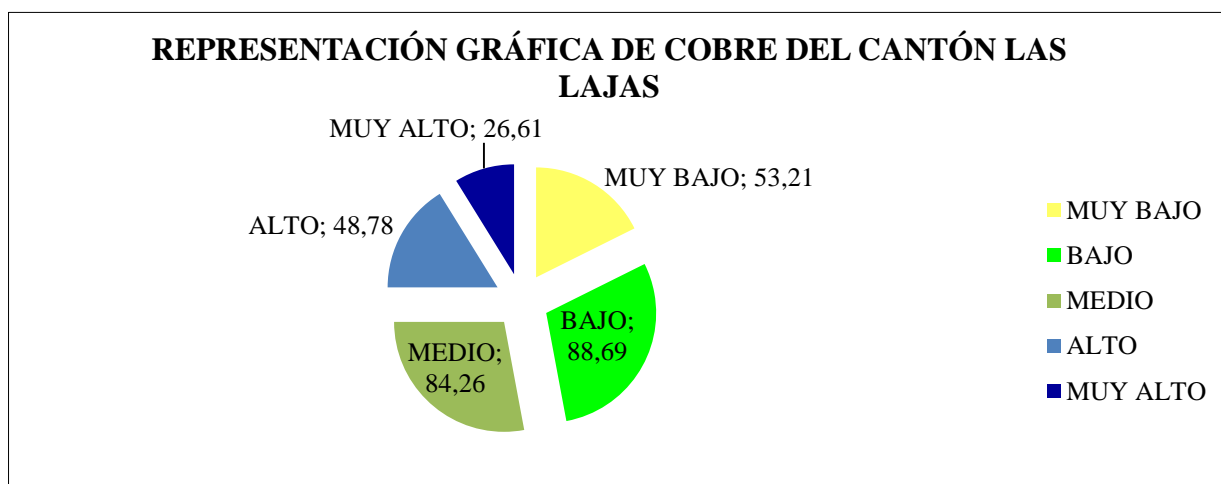


Figura 39. Distribución gráfica en km² de los niveles de cobre en el cantón Las Lajas, 2013

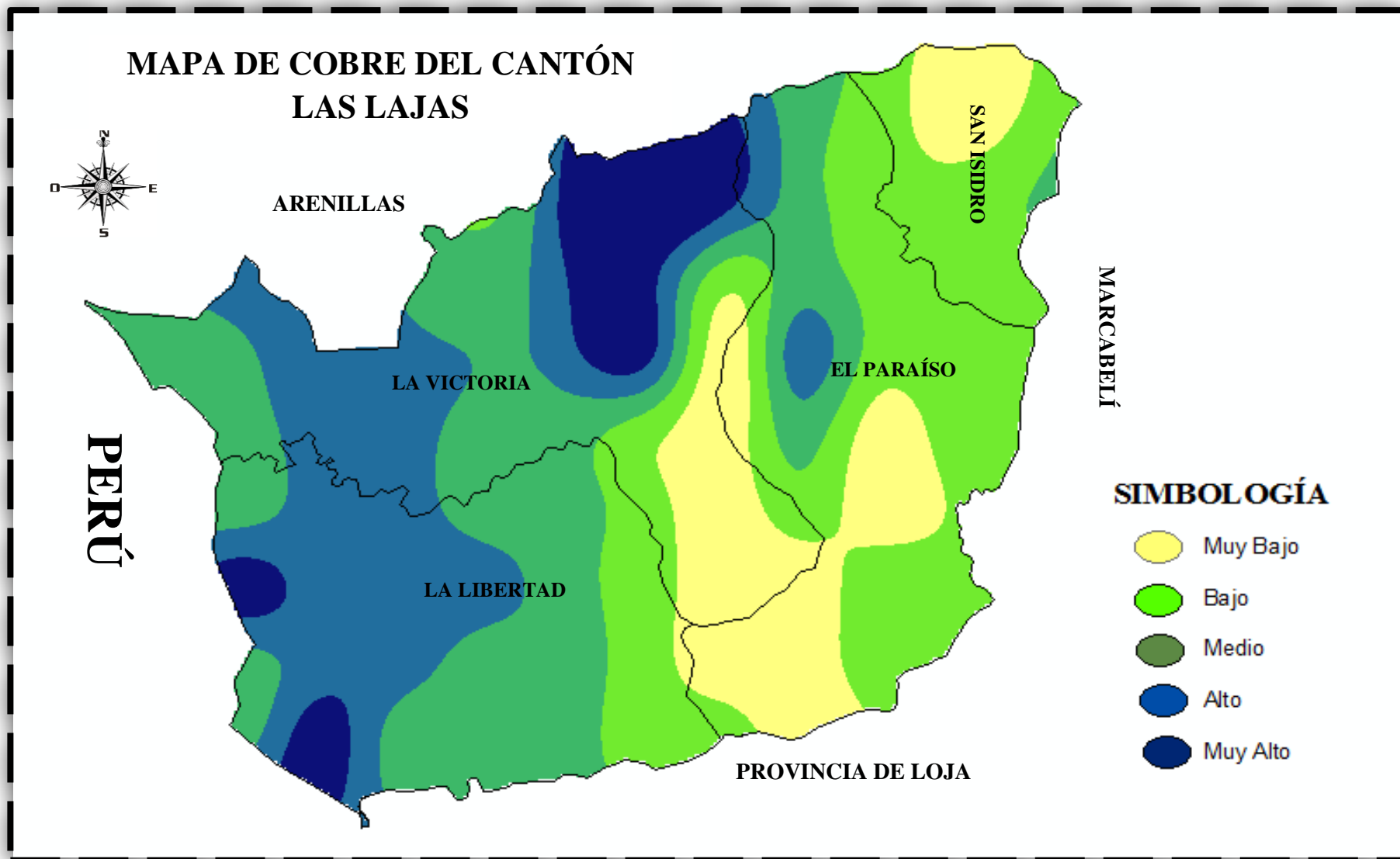


Figura 40. Mapa de los niveles de cobre del cantón Las Lajas, 2013.

4.1.11 MAPA DE LOS NIVELES DE ZINC

Se observa en el cuadro 17 y figuras 41 y 42 los diferentes niveles de zinc en los suelos del cantón Las Lajas.

Su distribución es casi uniforme en todo el cantón en los niveles desde muy bajo hasta muy alto, ya que este elemento también abunda en la superficie del suelo, se presenta en forma natural en sulfuros, óxidos y silicatos, se lo encuentra también como componente traza de las rocas ígneas, hornblenda y biotita; y, en rocas sedimentarias como lo defiende (Iñiguez 2007), y confirmando que este elemento predomina en la superficie del suelo; según la representación de zinc en este cantón el 20,59% alto y 17,65% muy alto que en términos generales pueden ser tóxicos, se debe encalar para reducir su disponibilidad. La deficiencia en Zinc se da en una amplia variedad de suelos como son los sueltos, los calcáreos, arcillosos y arenosos pobres en materia orgánica, aunque sobre todo en estos últimos. En cuanto al pH, este elemento se encuentra más disponible en los suelos ácidos que en los alcalinos, siendo su mínima disponibilidad para pH por encima de 7.

Cuadro 17. Superficie de distribución y representación en porcentajes de los niveles de zinc en el cantón Las Lajas, 2013.

Rangos (ug/ml)	Interpretación	Distribución (km ²)	Área representada (%)
< 2,00	Muy bajo	39,910	13,24
2 00 – 4,00	Bajo	101,993	33,82
4,10 – 6,00	Medio	44,345	14,71
6,10 - 8,00	Alto	62,083	20,59
>8,00	Muy Alto	53,214	17,65
Total		301,545	100,00

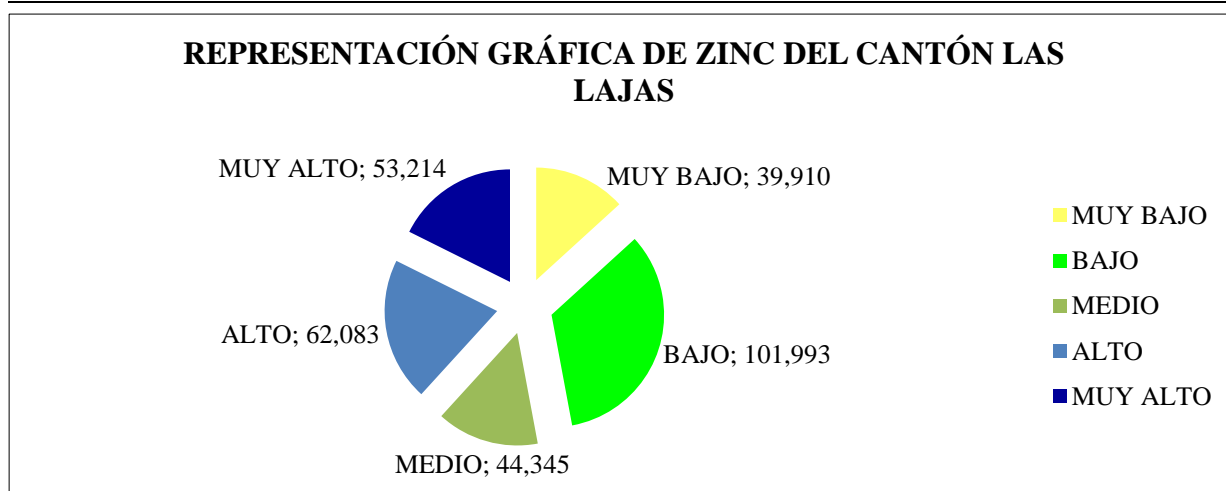


Figura 41. Distribución gráfica en km² de los niveles de zinc en el cantón Las Lajas, 2013.

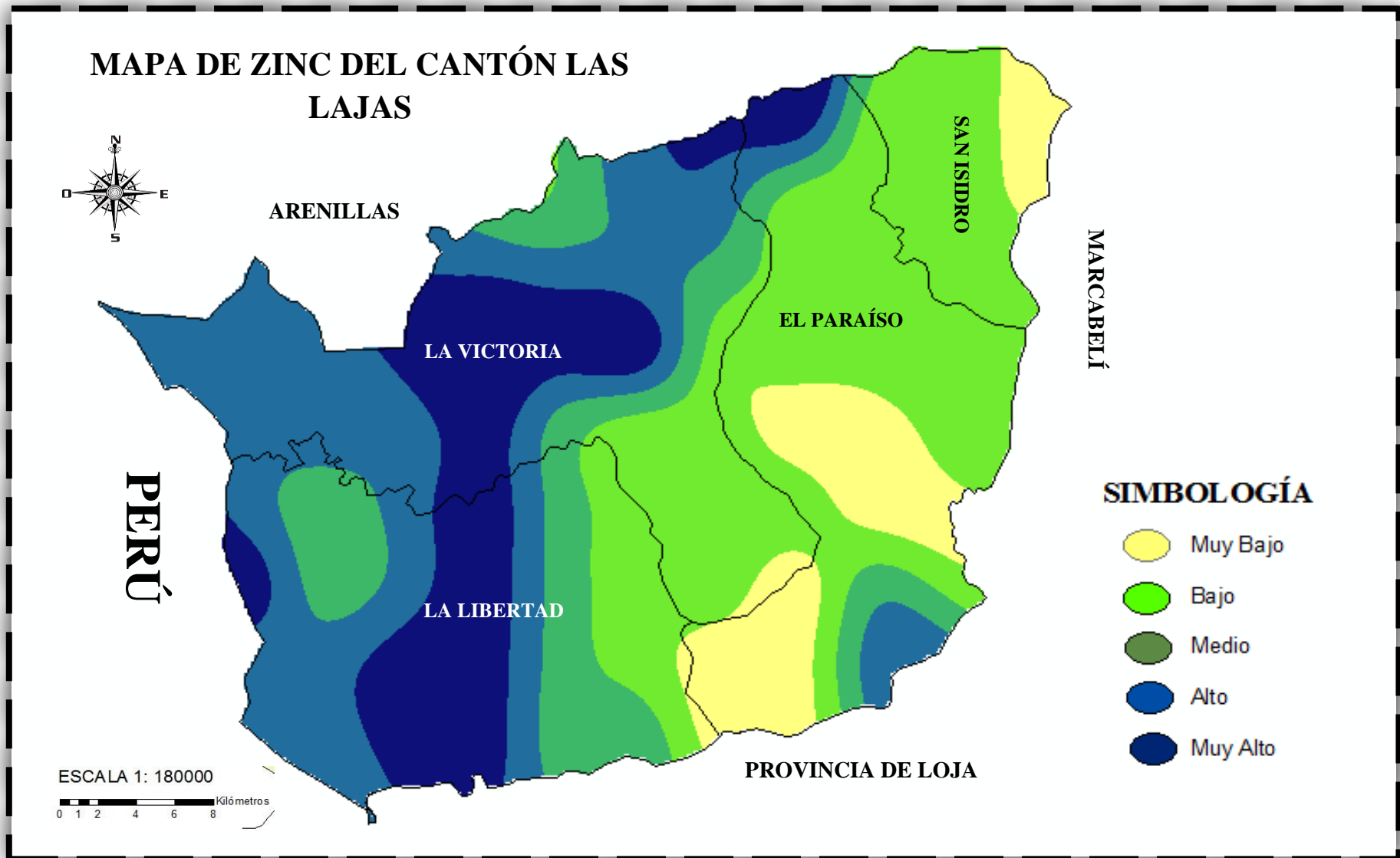


Figura 42. Mapa de los niveles de zinc del cantón Las Lajas, 2013.

4.1.12 MAPA DE LOS NIVELES DE MANGANESO

Se observa en el cuadro 18 y figuras 43 y 44 los diferentes niveles de manganeso en los suelos del cantón Las Lajas.

Debido a que tenemos pH ácidos el manganeso se encuentra en gran cantidad 97,06% alto, lo cual favorece para su disponibilidad como lo indica la página web (GEO México 2007), se encuentra en forma natural en óxidos sulfuros y silicatos, su mayor parte proviene de las rocas ferromagnesianas, asociado a hidróxidos de hierro. Según (Iñiguez 2007) se encuentra en formas fácilmente meteorizadas, se halla en pirolusita MnO_2 , braunita Mn_2O_3 , hausmanita Mn_3O_4 y manganita $MnO.OH$, en menor cantidad está presente en olivino, hornblenda, augita, biotita; en forma moderadamente estable en anortita, andesita y granate, el manganeso del suelo solamente de 0,1 a 0,3 ug/ml (ppm) es asimilable, este comprende el manganeso soluble o intercambiable. Por las razones explicadas difícilmente se encuentre todo el manganeso disponible para las plantas, pero si se encuentra en contenidos altos como lo es en este caso pueden causar toxicidad para las plantas, por lo cual se recomienda elevar el pH mediante encalados.

Cuadro 18. Superficie de distribución y representación en porcentajes de los niveles de manganeso en el cantón Las Lajas, 2013

Rangos (ug/ml)	Interpretación	Distribución (km ²)	Área representada (%)
11,10 – 14,80	Alto	8,87	2,94
> 14,80	Muy alto	292,68	97,06
Total		301,55	100



Figura 43. Distribución gráfica en km² de los niveles de manganeso en el cantón Las Lajas, 2013.

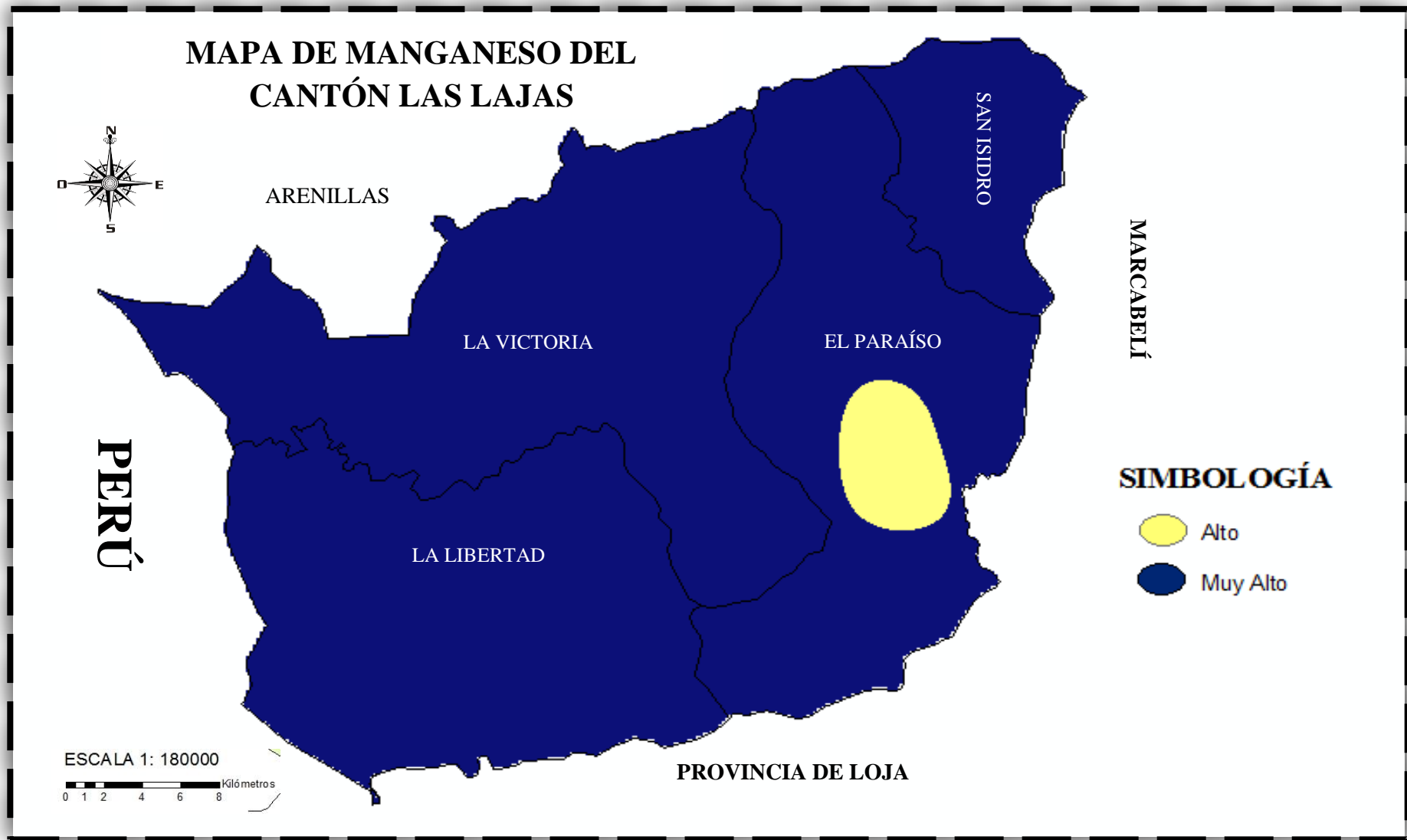


Figura 44. Mapa de los niveles de manganeso del cantón Las Lajas, 2013.

4.1.13 MAPA DE LOS NIVELES DE SODIO CAMBIABLE

Se observa en el cuadro 19 y figuras 45 y 46 los diferentes niveles sodio cambiante en los suelos del cantón Las Lajas.

Los resultados eran de esperarse porque el cantón Las Lajas está ubicado a una altitud que va desde 400 a 980 msnm lejos de afluentes marinos que causan la sodificación, por lo cual más de la mitad con un marcado 64,71% es de nivel bajo. En los suelos básicos, el sodio de intercambio llega a representar hasta el 75 % del complejo. Cuando el catión Na^+ ocupa la mayor parte del complejo arcillo-húmico, éste se dispersa, dificultándose la unión de las partículas. Estos suelos no se verían afectados por este elemento ya que a niveles elevados es capaz de desplazar Ca^{++} y K^+ , deteriorando la estructura del suelo.

Para recuperar suelos sódicos se requiere la adición de un enmendador que aporte calcio como el yeso para que desplace el sodio del complejo arcillo húmico y necesariamente de debe hacer un lavado de suelos. Jordán (2006) añade que el sodio es muy tóxico y necesariamente se deberían realizar estas labores para recuperar estos suelos.

Cuadro 19. Superficie de distribución y representación en porcentajes de los niveles de sodio cambiante en el cantón Las Lajas, 2013

Rangos (me/100g)	Interpretación	Distribución (km ²)	Área representada (%)
<0,50	MUY BAJO	17,74	5,88
0,50 – 1,01	BAJO	195,12	64,71
1,10 - 1,50	MEDIO	88,69	29,41
Total		301,55	100

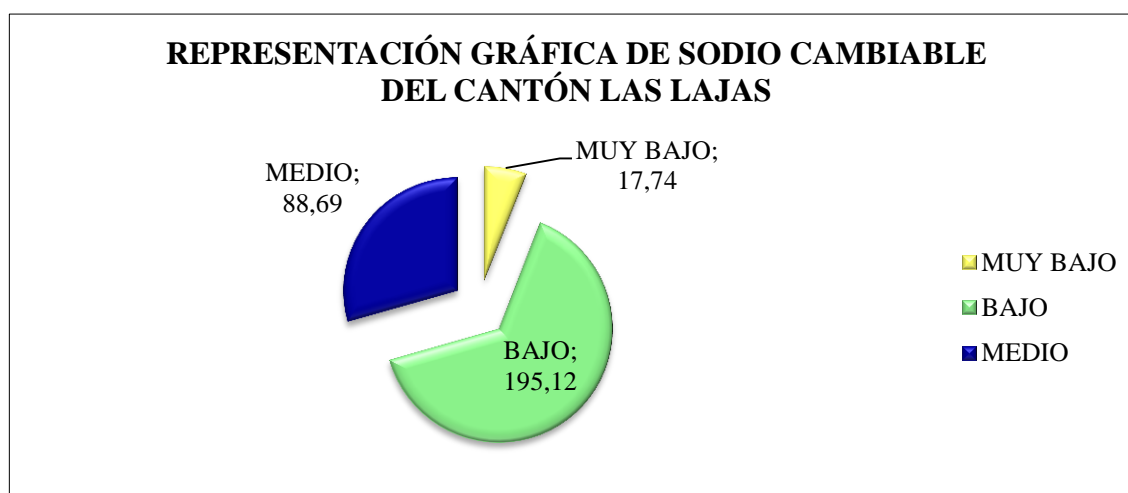


Figura 45. Distribución gráfica en km² de los niveles de sodio cambiante en el cantón Las Lajas, 2013.

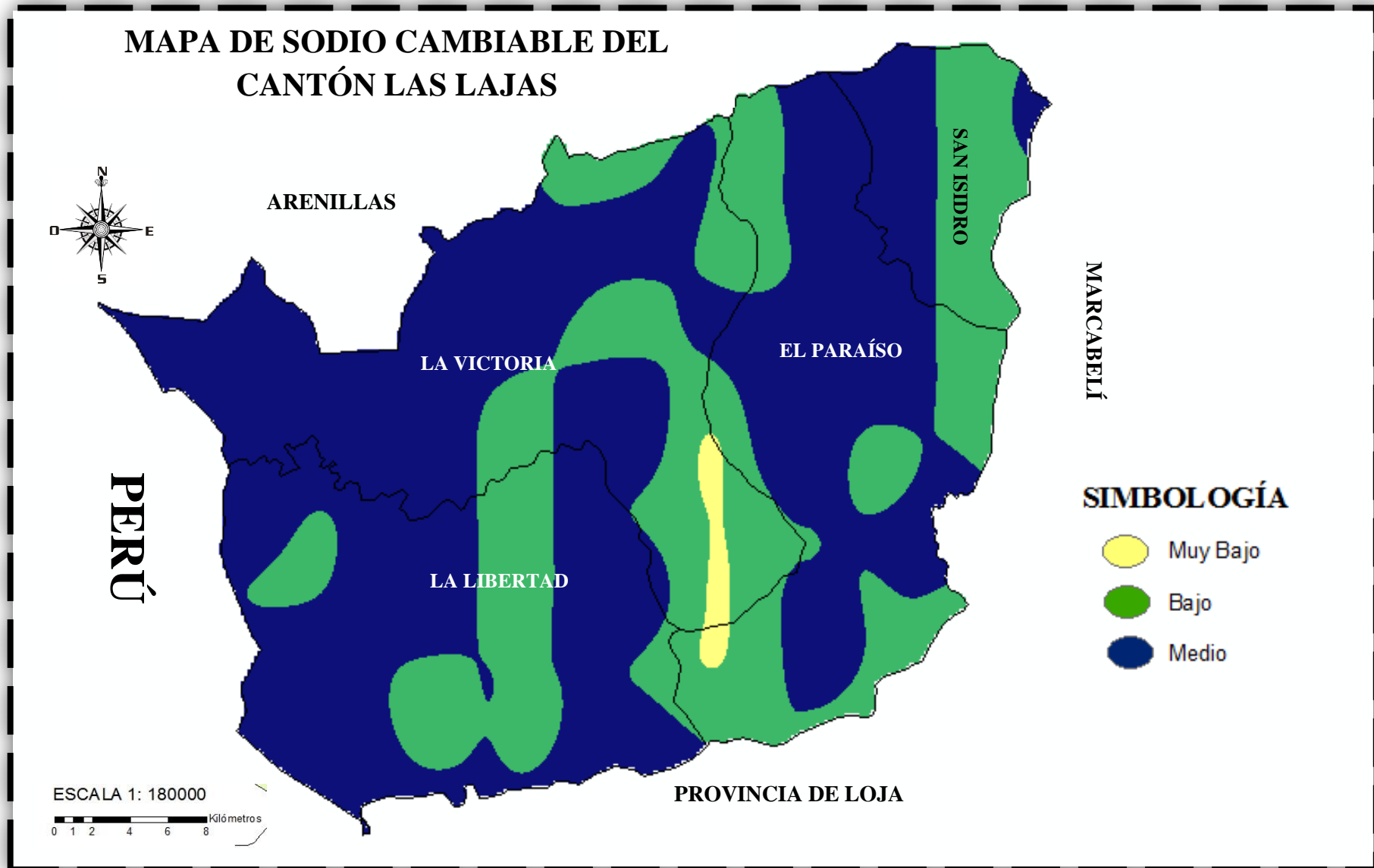


Figura 46. Mapa de los niveles de sodio cambiabile del cantón Las Lajas, 2013.

4.1.14 MAPA DE LOS NIVELES DE POTASIO CAMBIABLE

Se observa en el cuadro 20 y 47 y 48 los diferentes niveles de potasio cambiabile en los suelos del cantón Las Lajas.

Este resultado de potasio cambiabile alto puede ser porque los coloides del suelo tanto orgánicos como inorgánicos lo retienen en fracciones pequeñas es decir tanto las arcillas como la materia orgánica no es suficiente para mantener un equilibrio, Iñiguez (2007) recomienda que para mantener el equilibrio es preciso que el exceso de K^+ de la solución suelo sea absorbido por el coloide del suelo.

Por lo cual se debe adicionar materia orgánica en el complejo de suelo para tratar de equilibrarlo.

Cuadro 20. Superficie de distribución y representación en porcentajes de los niveles de potasio cambiabile en el cantón Las Lajas, 2013.

Rangos (me/100g)	Interpretación	Distribución (km ²)	Área representada (%)
> 0,80	Muy alto	301,55	100,00
Total		301,55	100,00



Figura 47. Distribución gráfica en km² de los niveles de potasio cambiabile en el cantón Las Lajas, 2013



Figura 48. Mapa de los niveles de potasio cambiabile del cantón Las Lajas, 2013.

4.1.15 MAPA DE LOS NIVELES DE CALCIO CAMBIABLE

Se observa en el cuadro 21 y figuras 49 y 50 los diferentes niveles de calcio cambiabile en los suelos del cantón Las Lajas.

Existe una marcada diferencia de calcio cambiabile con un 52,94% dándole una calificación de muy alto, generalmente la mayor parte de Ca^{++} se encuentra en suelos fértiles. Las arcillas del grupo smectitas saturadas con Ca^{++} lo liberan con dificultad creciente a medida que van saturando progresivamente. Las arcillas del grupo micas hidratadas lo manifiestan menos enérgicamente como lo manifiesta (Iñiguez 2007).

Esta puede ser la razón de que el cantón Las Lajas presenta bajos niveles de sodio; para incrementar los niveles de calcio con interpretación bajo (11,76%) y medio (14,71%) se debe aportar Carbonato de calcio, oxido de calcio, hidróxido de calcio, sulfato de calcio. El yeso o sulfato de calcio hidratado se lo utiliza en suelos salino sódicos y sódicos como enmendador.

Cuadro 21. Superficie de distribución y representación en porcentajes de los niveles de calcio cambiabile en el cantón Las Lajas, 2013.

Rangos (me/100g)	Interpretación	Distribución (km ²)	Área representada (%)
2,00 - 4,00	Bajo	35,48	11,76
4,10 - 6,10	Medio	44,34	14,71
6,10 - 8,00	Alto	62,08	20,59
>8,00	Muy Alto	159,64	52,94
Total		301,55	100,00

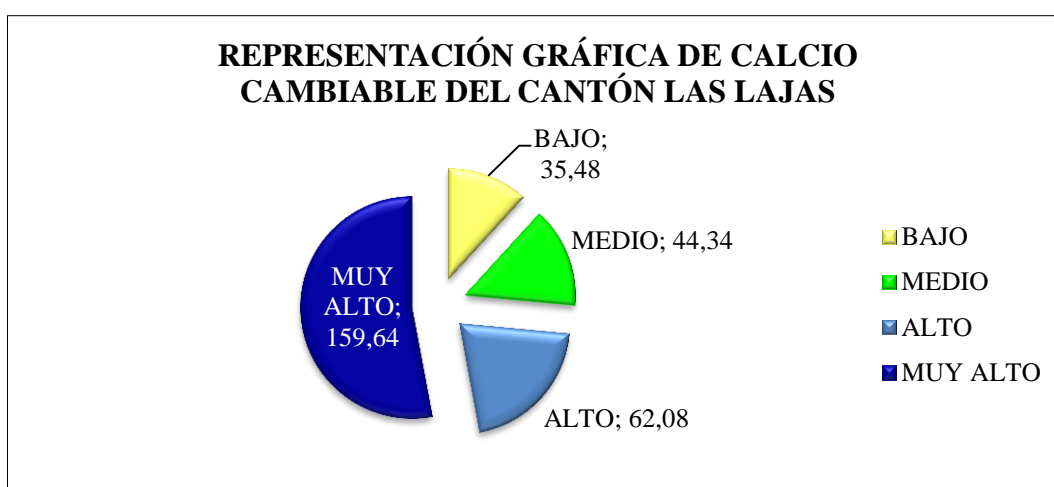


Figura 49. Distribución gráfica en km² de los niveles de calcio cambiabile en el cantón Las Lajas, 2013.

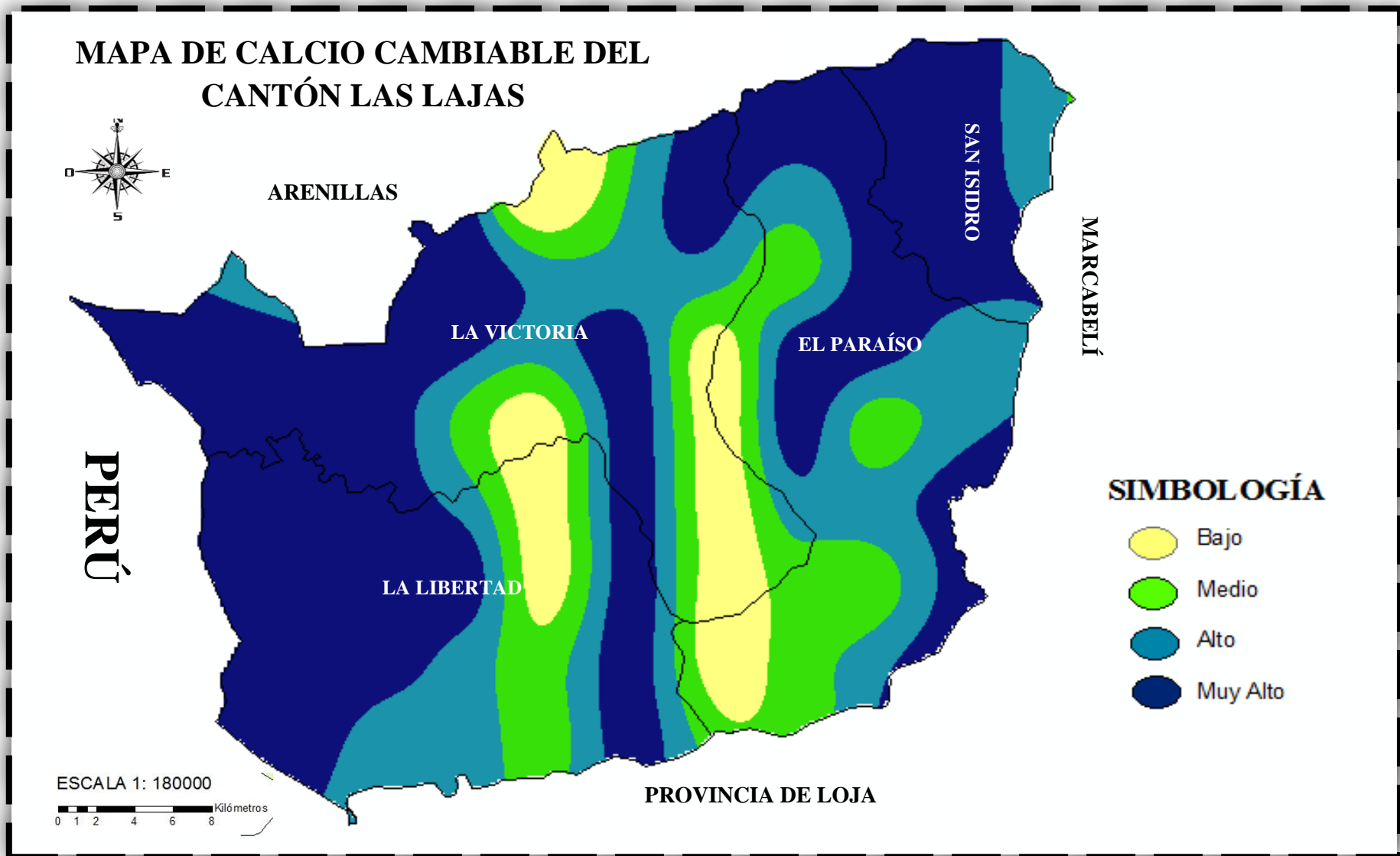


Figura 50. Mapa de los niveles de calcio cambiabile del cantón Las Lajas, 2013.

4.1.16 MAPA DE LOS NIVELES DE MAGNESIO CAMBIABLE

Se observa en el cuadro 22 y figuras 51 y 52 los diferentes niveles de magnesio cambiabile en los suelos del cantón Las Lajas.

Como tenemos un medio con suelos demasiados ácidos y con contenidos muy altos de potasio (100%) y calcio (52,94) la asimilación de magnesio puede verse perjudicada por lo cual se refleja en los resultados con un contenido del 66,18% muy alto y las plantas no lo pueden asimilar según (Iñiguez 2007), acumulándose en el suelo. A medida que incrementamos el pH y lo neutralizamos el magnesio de cambio puede ser tomado por las raíces de las plantas.

GEO México (2007) afirma que los suelos ordinariamente contienen menos Magnesio que Calcio debido a que el Mg^{++} no es absorbido tan fuertemente como el Ca^{+} por los coloides del suelo y puede perderse más fácilmente por lixiviación.

Cuadro 22. Superficie de distribución y representación en porcentajes de los niveles de magnesio cambiabile en el cantón Las Lajas, 2013.

Rangos (me/100g)	Interpretación	Distribución (km ²)	Área representada (%)
1,30 - 1,80	Medio	8,87	2,94
1,90 - 2,40	Alto	93,12	30,88
> 2,40	Muy Alto	199,55	66,18
Total		301,55	100,00

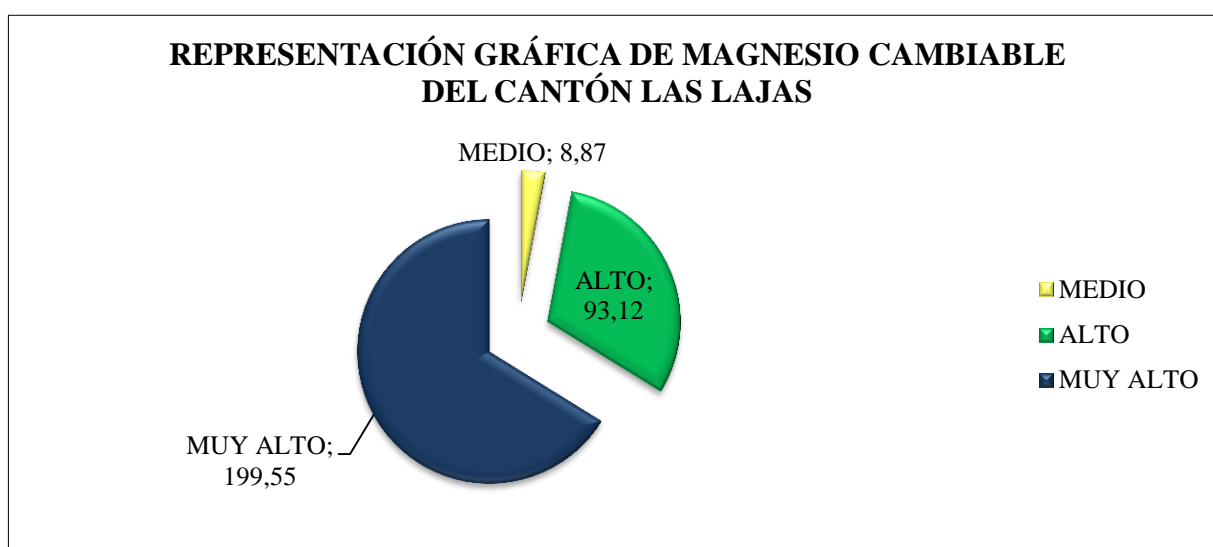


Figura 51. Distribución gráfica en Km² de los niveles de magnesio cambiabile en el cantón Las Lajas, 2013.

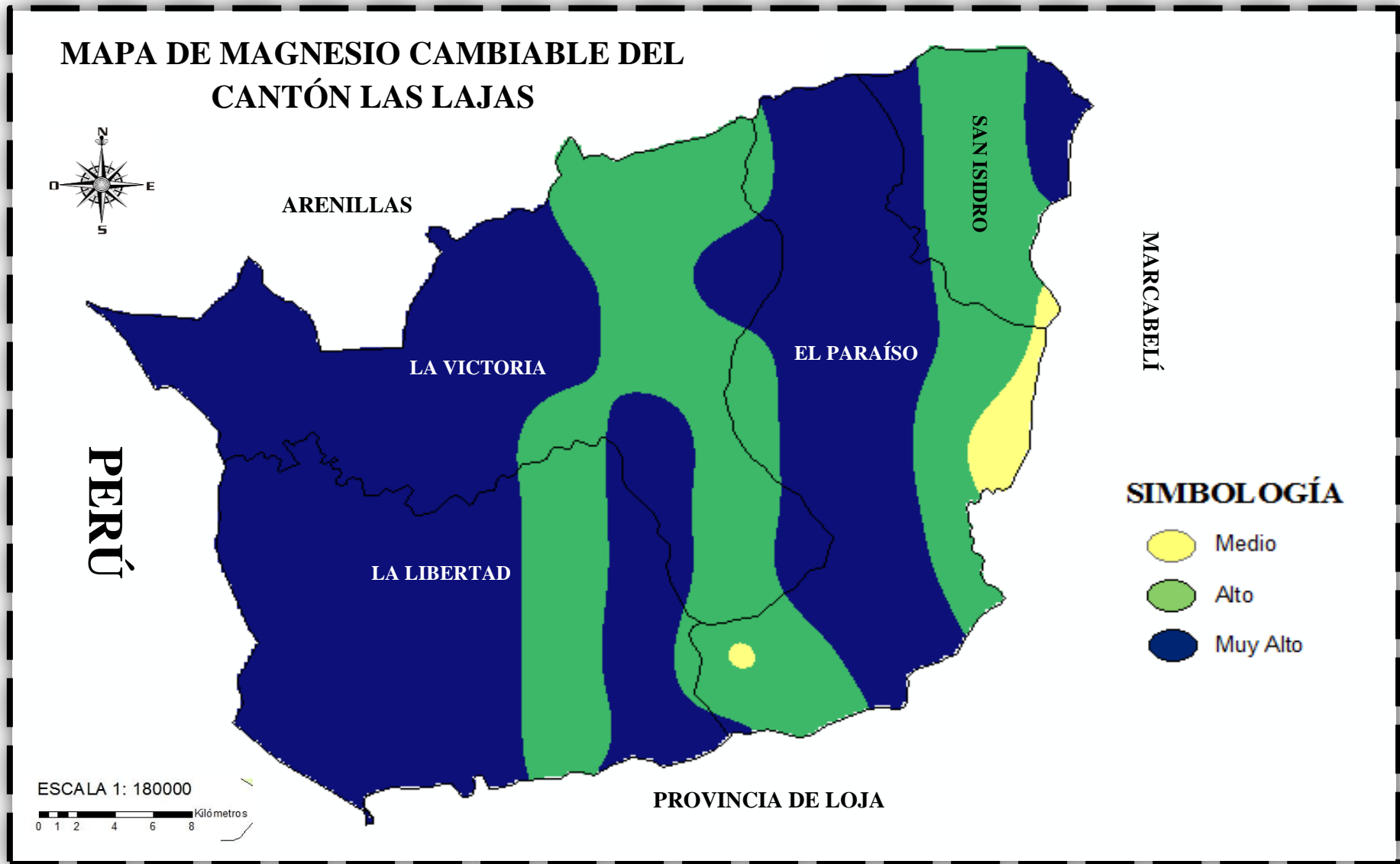


Figura 52. Mapa de los niveles de magnesio cambiabile del cantón Las Lajas. 2013

4.1.17 MAPA DEL GRADO DE FERTILIDAD

Se observa en el cuadro 23 y figuras 53 y 54 los diferentes grados de fertilidad en los suelos del cantón Las Lajas.

Básicamente el grado de fertilidad del suelo nos hemos regido a los resultados de laboratorio utilizando el análisis físico, químico y biológico, aflorando resultados con un 42,65% bajo y 54,41% moderado del total de la superficie de suelo estudiada, dado a las concentraciones de los diferentes elementos estudiados y las propiedades tanto físicas, químicas y biológicas del suelo así lo determinaron, lo cual Ojeda y Ojeda (1996) lo ratifican diciendo que la fertilidad se mide por medio de estos tres factores.

Sánchez (2007) aporta que las características del suelo no actúan independientemente, sino en forma integral, que en conjunto determinan la fertilidad del suelo.

El mismo autor propone un modelo que dice: “un suelo puede estar provisto de suficientes elementos minerales (fertilidad química) pero que no está provisto de buenas condiciones físicas y viceversa”.

Según los resultados obtenidos las condiciones tanto los macros y micro nutrientes, capacidad de cambio de cationes, pH, materia orgánica, textura, estructura, porosidad, aireación, capacidad de retención hídrica, estabilidad de agregados y la actividad de los microorganismos del suelo, se encuentran en el suelo de forma alterada.

Por estas causas se tiene que mejorar proporcionando o añadiendo al suelo cantidades adecuadas de fertilizantes nitrogenados, enmiendas como el yeso, materia orgánica en forma de compost, humus de lombriz, gallinaza, abonos verdes y/o biofertilizantes y corregir el pH, sin perder las bondades con las que ya cuenta el suelo, para elevar la fertilidad del cantón Las Lajas.

Además tomar en cuenta las condiciones ambientales como (temperaturas, precipitaciones, vientos), la topografía (pendientes) y la acción del hombre que también se deben tomar como parámetros para determinar el grado de erosión y evitar la pérdida de productividad de los suelos.

Cuadro 23. Superficie de distribución y representación en porcentajes del grado de fertilidad en el cantón Las Lajas, 2013.

Interpretación	Distribución en (Km ²)	Área representada (%)
Baja	128,60	42,65
Moderado	164,08	54,41
Moderadamente alto	8,87	2,94
Total	301,55	100,00

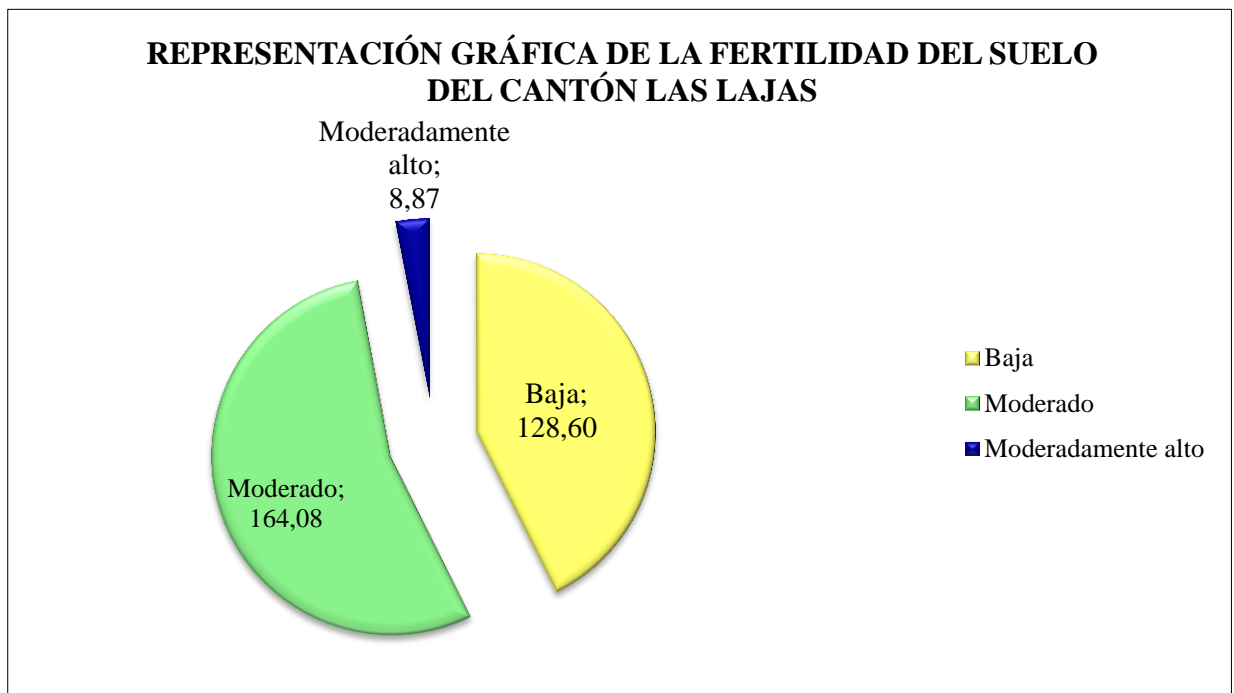


Figura 53. Distribución gráfica en Km² de los niveles de Fertilidad en el cantón Las Lajas, 2013.

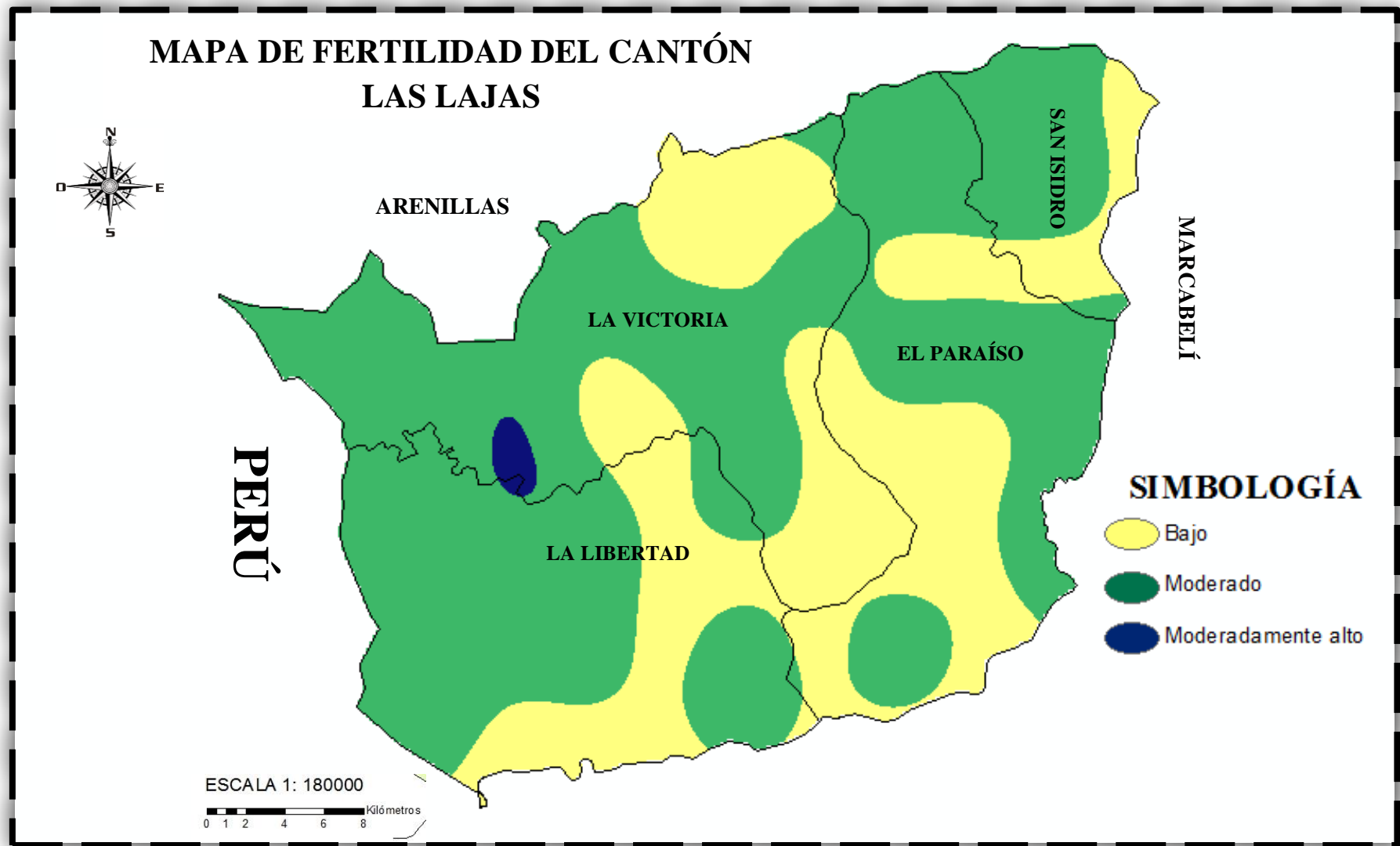


Figura 54. Mapa de los niveles de Fertilidad del cantón Las Lajas. 2013

5. CONCLUSIONES

1. Los suelos del cantón Las Lajas, presentan un nivel de fertilidad moderada en el 54,41% de la superficie total.
2. La clase textural que predomina en los suelos del cantón Las Lajas es el Franco Arenoso (Fo Ao) con un porcentaje de 51,47% de la superficie total.
3. Los suelos del cantón tienden a muy ácidos con un porcentaje de 75,00% de la superficie total. El nivel de materia orgánica, carbono orgánico y por ende el de nitrógeno son muy bajos. La capacidad de intercambio catiónico (CIC) en estos suelos es de nivel medio, y representa el 55,88% de la superficie total. Los niveles de los elementos cambiables Potasio, Calcio y Magnesio son muy altos en estos suelos, mientras que el Sodio son bajos. Los micronutrientes tuvieron una distribución irregular y de variados niveles.
4. Que los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se constituyen en una herramienta de suma importancia, para la mapificación, porque permite capturar, almacenar, administrar, manipular y presentar datos relacionados a elementos útiles y que están en la superficie del suelo.

6. RECOMENDACIONES

1. Que se utilicen los Sistemas de Información Geográfica (SIG) ya que se constituyen una herramienta para levantar, procesar información y que permitan visualizar en un mapa las condiciones edafológicas de los suelos.
2. Realizar estudios en sectores que permitan conocer su grado de fertilidad y así poder efectuar recomendaciones de fertilización.

7. RESUMEN

En el Ecuador se están utilizando los Sistemas de Información Geográfica (SIG) como una alternativa para investigar, desarrollar y presentar opciones y poder solucionar problemas que son de mucha importancia en diferentes campos, ya sea para la planificación o la resolución de algún asunto de tipo nacional o local. La elaboración de una base de datos georeferenciada de distintos elementos que se encuentran en el suelo y que son necesarios para la nutrición de las plantas, nos puede ayudar a planificar y llevar un control del correcto manejo de los suelos. Mediante el procesamiento e interpretación de los resultados de los análisis se pudo determinar el estado actual de los suelos y con el software se pudo procesar los datos y crear los mapas los cuales son ilustrativos y explicativos.

Los objetivos fueron los siguientes: 1. Determinar el grado fertilidad de los suelos mediante análisis de textura, pH, carbono orgánico, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ y Na^+ cambiables, N, P, K y complementariamente Fe, Cu, Zn, Mn. 2. Elaborar mediante los sistemas de información geográfica los mapas de textura, fertilidad, pH, carbono orgánico, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ y Na^+ cambiables, N, P, K, Fe, Cu, Zn y Mn del cantón Las Lajas.

El Cantón Las Lajas, políticamente, se encuentra ubicado en la provincia de El Oro-Ecuador; tiene una superficie de 301,55 km², que equivale aproximadamente el 5,15 % de la superficie total de la provincia, los límites son: al norte con el Cantón Arenillas; al sur con la provincia de Loja; al este con los Cantones Marcabelí y Paltas provincia de Loja, al oeste con Perú.

Los protocolos para los análisis de suelos fueron: para la materia orgánica, Walkley y Black, para el análisis mecánico, Bouyucus, para la capacidad de intercambio catiónico, Formaldehido, para las bases cambiables Na^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , los macro y micronutrientes N, P, K, Ca, Fe, Cu, Zn, Mn, el espectrofotómetro de absorción atómica: y, pH, conductómetro.

Se obtuvo las siguientes conclusiones: La clase textural que predomina los suelos del cantón Las Lajas es el Franco Arenoso con un 51,47% de la superficie del cantón. El contenido de materia orgánica de estos suelos en su mayoría es bajo. La capacidad de intercambio catiónico en estos suelos predominan los valores en el rango medio, ya que represento el 55,88% de la

superficie del cantón. Los niveles de nitrógeno son muy bajos, los niveles de los elementos cambiables Magnesio y Calcio son muy altos en los suelos, mientras que los niveles de Potasio cambiable son muy altos y Sodio cambiable son bajos y medios. Los macronutrientes y micronutrientes tuvieron una distribución irregular y de variadas concentraciones. Los suelos del cantón Las Lajas tienden a la acidez. Los mapas fueron elaborados de manera satisfactoria.

Palabras claves: Mapa, fertilidad, Sistemas de Información Geográfica (SIG), análisis.

8. SUMMARY

In the Ecuador the Systems of Geographical Information are using (SIG) like an alternative to investigate, to develop and to present options and power to either solve problems that are of a lot of importance in different fields, for the planning or the resolution of some matter of national or local type. The elaboration of a database georeferenciada of different elements that you/they are in the floor and that they are necessary for the nutrition of the plants, he/she can help us to plan and to take a control of the correct handling of the floors. By means of the prosecution and interpretation of the results of the analyses you could determine the current state of the floors and with the software you could process the data and to create the maps which are illustrative and explanatory.

The objectives were the following ones: 1. To determine the grade fertility of the floors by means of texture analysis, pH, organic carbon, organic matter, capacity of cationic exchange, Ca^{++} , Mg^{++} , K^{+} and changeable Na^{+} , N, P, K and complementarily Faith, Cu, Zn, Mn. 2. To elaborate by means of the systems of geographical information the texture maps, fertility, pH, organic carbon, organic matter, capacity of cationic exchange, Ca^{++} , Mg^{++} , K^{+} and changeable Na^{+} , N, P, K, Faith, Cu, Zn and Mn of the canton The Flagstones.

The Canton The Flagstones, politically, it is located in the county of The Gold-Ecuador; he/she has a surface of 301,55 km² that is equal 5,15% of the total surface of the county approximately, you limit them they are: to the north with the Canton Sands; to the south with the county of Loja; to the east with the Cantons Marcabellí and Avocados county of Loja, to the west with Peru.

The protocols for the analyses of floors were: for the organic matter, Walkley and Black, for the mechanical analysis, Bouyucus, for the capacity of cationic exchange, Formaldehyde, for the changeable bases Na^{+} , Ca^{++} , Mg^{++} , K^{+} , the macro and micronutrimientos N, P, K, Ca, Faith, Cu, Zn, Mn, the espectrofotómetro of atomic absorption: and, pH, conductometer.

It was obtained the following summations: The textural class that prevails the floors of the canton The Flagstones is the Sandy Franco with 51,47% of the surface of the canton. The content of organic matter of these floors in its majority is low. The capacity of cationic exchange in these floors prevails the securities in the half range, since I represent 55,88% of

the surface of the canton. The nitrogen levels are very low, the levels of the elements changeable Magnesium and Calcium are very high in the floors, while the levels of changeable Potassium are very high and changeable Sodium is low and means. The macronutrientes and micronutrientes had an irregular distribution and of varied concentrations. The floors of the canton The Flagstones spread to the acidity. The maps were elaborated in a satisfactory way.

Keywords: Map, fertility, Geographical Information Systems (GIS), analysis.

9. BIBLIOGRAFÍA CITADA

BUCKMAN, H y BRADY, N. 1966. Naturaleza y propiedades de los suelos. Ed. Montaner y Simons, S.A. Barcelona, España. 590 pp.

CONTI 2009. Materia Orgánica p.61 recuperado del sitio web:

<ftp://ftp.at.fcen.uba.ar/maestria/SUELOS/MaterialDeLectura/MAT-ORG.pdf>

CORBELLA, R y FERNÁNDEZ, J. 2009. Materia orgánica del suelo Cátedra de Edafología Facultad de Agronomía y Zootecnia Universidad Nacional de Tucumán, Argentina. p 1.

EQUIPO 4. 2009. Etapas de formación del suelo vinculado al sitio web:

<http://elsueloequipo4.blogspot.com/2009/02/etapas-de-la-formacion-del-suelo.html>

GEO México. 2004. El Suelo. Modificado el 6 de enero, 2005 recuperado del sitio web:

<http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/448/9.pdf>

GEO México 2007. Análisis físicos y químicos del suelo, Manual de técnicas de análisis de suelos p. 27 recuperado del sitio web:

<http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/509/analisis.pdf>

GIRALDO 2010. Métodos para evaluar la fertilidad del suelo, recuperado del sitio web:

http://www.docentes.unal.edu.co/jcperez/docs/Fertilidad_Suelos_2010_01/Metodos%20para%20evaluar%20fertilidad%20JUDY.pdf

GISBERT, IBÁÑEZ y MORENO 2009. La textura de un suelo, departamento de producción vegetal, Universidad Politecnica de Valencia, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, p. 7 modificado el 11 de diciembre, 2009 del sitio web:

<http://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/7775/Textura.pdf>

GONZÁLEZ 2005. El Suelo, de la superficie hacia abajo, creado el 6 de octubre, 2005

recuperado del sitio web: <http://academic.uprm.edu/gonzalezc/HTMLobj-242/capitulo1-suelos.pdf>

GUEVARA 2010. Calcio y Magnesio del suelo, recuperado del sitio web:

<http://www.edafo.com.ar/Descargas/Cartillas/Calcio%20y%20Magnesio.pdf>

HUERTA, H. 2010. Determinación de propiedades físicas y químicas de suelos con mercurio en la región de San Joaquín, Querétaro., y su relación con el crecimiento bacteriano. México. p 9.

INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA (INTA). 2012. Manuel de fertilidad y evaluación de suelos, ed. INTA, Anguil, La Pampa, Argentina. p 115.

INTRODUCCIÓN A LA EDAFOLOGÍA, recuperado de la página web:

<http://edafologia.ugr.es/introeda/tema04/text.htm>

IÑIGUEZ, M. 2007. Fertilidad, fertilizantes y fertilización de suelo, Universitaria. Loja. p 152-292

JIMÉNEZ y HERNÁNDEZ 2008. Módulo Agrotecnología, El Suelo, Propiedades físicas del suelo, p 14-18 recuperado del sitio web:

http://www.educarm.es/templates/portal/ficheros/websDinamicas/20/suelos_tema_2..pdf

JORDÁN L, A. 2006. Manual de Edafología, Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola de la Universidad de Sevilla, España. p 79-81.

NUTRIENTES DEL SUELO, recuperado del sitio web:

<http://edafologia.fcien.edu.uy/archivos/Nutrientes%20del%20suelo.pdf>

OJEDA y OJEDA 1996. Suelos cultivados de la República Mexicana, contenido medio de nutrimentos minerales aprovechables, Universidad Autónoma Chapingo, México, recuperado de la página web:

<http://www.crc.gov.co/files/ConocimientoAmbiental/POMCH/Rio%20Sambingo-Hatoviejo/Fertilidad%20de%20los%20Suelos.pdf>

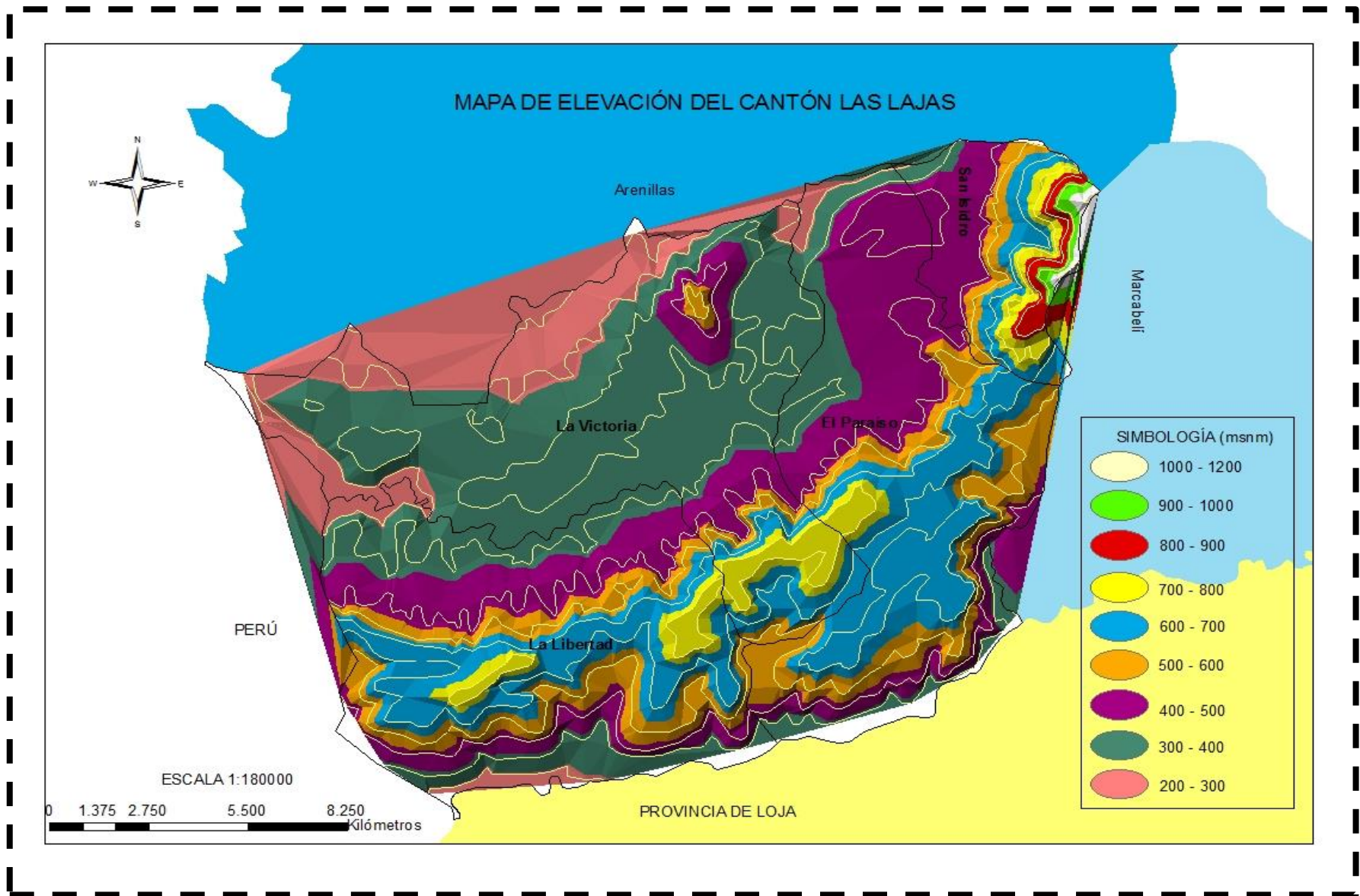
ORTIZ, Topologías, modelos de datos y tipos de SIG, recuperado de la página

web:<http://www.gabrielortiz.com/index.asp?Info=012>

- PORTA J, LÓPEZ M., ROQUERO C, 2003. Edafología para la agricultura y el medio ambiente, Tercera edición; Impreso en España, Ediciones Mundi-prensa, p.929.
- RUCKS, L *et al.* 2004. Propiedades Físicas del Suelo Facultad de Agronomía Universidad de la república Dpto. SUELOS y AGUAS, Montevideo, Uruguay. p 10.
- SÁNCHEZ J. 2007. Fertilidad del suelo y nutrición mineral de plantas-conceptos básicos-Fertitec S.A.
- SEGISMUNDO 2009. Propiedades químicas del suelo. Creado el 26 de octubre, 2009 y recuperado del sitio web: <http://www.hortojardi.com/segismundo/apuntsuelos-2.pdf>
- SEMARNAT. 2009. Capítulo 3 Suelos, recuperado del sitio web:
http://www.semarnat.gob.mx/informacionambiental/Documents/pdf/cap_3_suelos.pdf
- SONZANO 2010. El fosforo del suelo p.1-2 recuperado del sitio web:
<http://www.edafo.com.ar/Descargas/Cartillas/Fosforo%20del%20Suelo.pdf>
- TORRES M, RODRÍGUEZ M, LAVADO R. y MELGAR R. 2010. Tecnología de la fertilización azufrada en la Región Pampeana, Estado actual y tendencias. IPNI, Revista de Informaciones Agronómicas. N° 48 pp 19-25
- UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES (AGROUMSA). Introducción a la física del suelo recuperado del sitio web:
<http://200.7.175.130/agroumsa/sites/default/files/repositorio/Tema%201%20intro%20Fisca%20de%20suelos.pdf>
- VILLAVERDE 2008. Sistemas de información geográfica (SIG): Introducción, recuperado del sitio web: http://www.gbif.es/ficheros/Guion_SIG.pdf

APÉNDICE

Apéndice 1. Mapa de Elevación del Cantón Las Lajas.



Apéndice 2. Ubicación georeferenciada en unidades UTM de las muestras en que fueron objeto de estudio, 2013

Nº Muestra	X	Y
1	592000	9582000
2	594000	9580000
3	594000	9578000
4	594000	9576000
5	594000	9574000
6	594000	9572000
7	596000	9572000
8	596000	9574000
9	596000	9576000
10	596000	9578000
11	596000	9580000
12	598000	9580000
13	598000	9578000
14	598000	9576000
15	598000	9574000
16	598000	9572000
17	600000	9572000
18	600000	9574000
19	600000	9576000
20	600000	9578000
21	600000	9580000
22	602000	9582000
23	602000	9580000
24	602000	9578000
25	602000	9576000
26	602000	9574000
27	602000	9572000
28	604000	9572000
29	604000	9574000
30	604000	9576000
31	604000	9578000
32	604000	9580000
33	604000	9582000

34	604000	9584000
35	606000	9588000
36	606000	9586000
37	606000	9584000
38	606000	9582000
39	606000	9580000
40	606000	9578000
41	606000	9576000
42	606000	9574000
43	606000	9572000
44	608000	9572000
45	608000	9574000
46	608000	9576000
47	608000	9578000
48	608000	9580000
49	608000	9582000
50	608000	9584000
51	608000	9586000
52	608000	9588000
53	610000	9574000
54	610000	9576000
55	610000	9578000
56	610000	9580000
57	610000	9582000
58	610000	9584000
59	610000	9586000
60	610000	9588000
61	612000	9590000
62	612000	9588000
63	612000	9586000
64	612000	9584000
65	612000	9582000
66	612000	9580000
67	612000	9576000
68	614000	9588000

Apéndice 3. Resultados de los análisis básicos del Laboratorio NemaLab, 2013

N° Muestra	pH	ppm						
		N	P2O5	K2O	Fe	Cu	Zn	Mn
1	4,4	9,36	54,96	103,22	152,60	3,90	6,40	57,60
2	4,5	9,47	55,58	104,40	154,33	3,94	6,47	58,25
3	4,6	9,79	57,46	107,92	159,54	4,08	6,69	60,22
4	5,5	18,72	89,31	314,36	154,70	7,20	9,80	164,80
5	4,8	10,27	60,33	113,31	167,51	4,28	7,03	63,23
6	4,8	10,23	60,08	112,84	166,82	4,26	7,00	62,97
7	6,7	20,56	115,24	129,31	163,20	6,47	7,55	216,76
8	5,6	17,16	96,18	107,92	136,20	5,40	6,30	180,90
9	5,0	15,23	85,36	95,78	120,88	4,79	5,59	160,55
10	5,1	15,57	87,25	97,90	123,55	4,90	5,72	164,10
11	4,9	10,92	61,83	98,53	204,60	4,70	6,10	140,70
12	5,9	13,17	74,57	118,84	246,77	5,67	7,36	169,70
13	5,8	12,88	72,93	116,23	241,34	5,54	7,20	165,97
14	4,9	11,01	62,33	99,34	206,27	4,74	6,15	141,85
15	5,5	12,48	80,15	304,98	224,60	4,50	11,20	290,20
16	4,2	9,55	61,35	233,45	171,92	3,44	8,57	222,13
17	4,3	9,67	62,08	236,22	173,96	3,49	8,67	224,77
18	5,2	11,89	76,36	290,56	213,98	4,29	10,67	276,48
19	5,6	12,80	82,19	312,74	230,32	4,61	11,49	297,59
20	4,7	10,66	68,49	260,62	191,93	3,85	9,57	247,99
21	4,0	8,99	57,71	219,59	161,71	3,24	8,06	208,94
22	6,6	15,60	100,76	1393,52	136,40	5,50	8,10	70,90
23	4,0	9,53	61,52	850,89	83,29	3,36	4,95	43,29
24	4,0	9,38	60,61	838,23	82,05	3,31	4,87	42,65
25	3,9	9,27	59,85	827,67	81,01	3,27	4,81	42,11
26	4,2	9,88	63,81	882,57	86,39	3,48	5,13	44,90
27	4,1	9,57	61,83	855,12	83,70	3,38	4,97	43,51
28	5,5	14,04	109,92	168,91	203,50	2,20	4,10	76,20
29	4,5	11,54	90,33	138,81	167,24	1,81	3,37	62,62
30	4,4	13,26	61,83	56,30	67,80	1,60	2,60	15,70
31	4,2	12,75	59,44	54,13	65,18	1,54	2,50	15,09
32	4,3	13,02	60,71	55,28	66,57	1,57	2,55	15,41
33	5,4	10,14	57,25	300,29	249,30	15,50	8,30	107,00

34	4,6	8,56	48,34	253,58	210,52	13,09	7,01	90,36
35	5,3	9,90	55,87	293,06	243,30	15,13	8,10	104,42
36	5,2	9,76	55,13	289,17	240,07	14,93	7,99	103,04
37	6,5	16,38	105,34	361,28	112,30	2,00	4,20	50,20
38	4,6	8,66	55,67	190,93	59,35	1,06	2,22	26,53
39	4,5	8,47	54,46	186,79	58,06	1,03	2,17	25,95
40	4,5	8,39	53,98	185,13	57,55	1,02	2,15	25,72
41	4,4	8,28	53,26	182,65	56,77	1,01	2,12	25,38
42	3,9	7,40	47,58	163,18	50,72	0,90	1,90	22,67
43	5,0	21,84	103,05	84,46	30,60	1,50	1,60	17,00
44	4,1	17,73	83,68	68,58	24,85	1,22	1,30	13,80
45	4,4	19,22	90,68	74,32	26,93	1,32	1,41	14,96
46	4,9	21,32	100,58	82,43	29,87	1,46	1,56	16,59
47	4,5	15,60	107,63	121,99	224,60	2,40	2,30	31,00
48	4,5	16,38	96,18	70,38	177,70	3,20	1,40	29,50
49	6,8	15,60	96,18	79,76	231,90	4,90	3,70	156,40
50	4,4	10,14	62,52	51,85	150,74	3,19	2,41	101,66
51	4,8	10,94	67,47	55,95	162,67	3,44	2,60	109,71
52	6,0	7,80	25,19	93,84	122,70	3,90	8,30	100,70
53	4,6	6,01	19,40	72,26	94,48	3,00	6,39	77,54
54	4,3	5,59	18,05	67,25	87,94	2,80	5,95	72,17
55	4,8	7,02	16,03	51,61	80,10	1,20	1,50	14,00
56	4,4	6,45	14,73	47,42	73,59	1,10	1,38	12,86
57	4,4	6,24	11,45	70,38	139,60	1,80	2,10	77,10
58	4,5	6,33	11,61	71,34	141,50	1,82	2,13	78,15
59	4,9	6,96	12,78	78,54	155,78	2,01	2,34	86,04
60	5,9	18,72	105,34	192,37	136,40	1,60	3,90	112,30
61	4,6	14,56	81,95	149,66	106,11	1,24	3,03	87,37
62	4,5	14,31	80,52	147,05	104,27	1,22	2,98	85,84
63	5,1	12,48	52,67	136,07	116,40	2,50	3,10	142,40
64	4,8	11,62	49,06	126,73	108,41	2,33	2,89	132,63
65	4,6	11,13	46,99	121,39	103,85	2,23	2,77	127,04
66	4,2	10,18	42,96	110,99	94,95	2,04	2,53	116,15
67	5,0	12,11	51,12	132,07	112,98	2,43	3,01	138,21
68	4,3	16,38	91,60	56,30	134,60	1,60	1,60	17,70

Apéndice 4. Resultados de los análisis de Na⁺, K⁺, Ca⁺⁺ y Mg⁺⁺ cambiabiles en el laboratorio de NemaLab, 2013

Bases Cambiables: Ac NH₄OH 1 N					
N° Muestra	meq/100 g				
	Ca	Mg	K	Na	
1	10,31	4,97	2,56	1,27	19,11
2	10,43	5,03	2,59	1,28	19,33
3	10,78	5,20	2,68	1,33	19,98
4	11,47	5,86	2,92	0,92	21,17
5	11,32	5,46	2,81	1,39	20,98
6	11,27	5,43	2,80	1,39	20,89
7	11,69	5,81	2,52	1,28	21,30
8	9,76	4,85	2,10	1,07	17,78
9	8,66	4,30	1,86	0,95	15,78
10	8,85	4,40	1,91	0,97	16,13
11	9,11	4,21	2,02	1,21	16,55
12	10,99	5,08	2,44	1,46	19,96
13	10,75	4,97	2,38	1,43	19,52
14	9,18	4,24	2,04	1,22	16,69
15	8,04	3,76	1,57	0,87	14,24
16	6,15	2,88	1,20	0,67	10,90
17	6,23	2,91	1,22	0,67	11,03
18	7,66	3,58	1,50	0,83	13,57
19	8,24	3,86	1,61	0,89	14,60
20	6,87	3,21	1,34	0,74	12,17
21	5,79	2,71	1,13	0,63	10,25
22	6,52	3,27	1,66	0,92	12,37
23	3,98	2,00	1,01	0,56	7,55
24	3,92	1,97	1,00	0,55	7,44
25	3,87	1,94	0,99	0,55	7,35
26	4,13	2,07	1,05	0,58	7,83
27	4,00	2,01	1,02	0,56	7,59
28	11,78	3,16	5,82	1,20	21,96
29	9,68	2,60	4,78	0,99	18,05
30	11,22	2,61	5,22	1,07	20,12
31	10,79	2,51	5,02	1,03	19,34
32	11,02	2,56	5,13	1,05	19,75
33	8,91	2,21	4,37	1,04	16,53

34	7,52	1,87	3,69	0,88	13,96
35	8,70	2,16	4,26	1,01	16,13
36	8,58	2,13	4,21	1,00	15,92
37	6,87	3,71	1,92	0,87	13,37
38	3,63	1,96	1,01	0,46	7,07
39	3,55	1,92	0,99	0,45	6,91
40	3,52	1,90	0,98	0,45	6,85
41	3,47	1,88	0,97	0,44	6,76
42	3,10	1,68	0,87	0,39	6,04
43	5,21	2,71	1,47	0,62	10,01
44	4,23	2,20	1,19	0,50	8,13
45	4,58	2,38	1,29	0,55	8,81
46	5,08	2,64	1,43	0,61	9,77
47	6,47	3,18	1,86	0,92	12,43
48	9,76	4,85	2,10	1,07	17,78
49	9,11	4,21	2,02	1,21	16,55
50	5,92	2,74	1,31	0,79	10,76
51	6,39	2,95	1,42	0,85	11,61
52	8,04	3,76	1,57	0,87	14,24
53	6,19	2,90	1,21	0,67	10,96
54	5,76	2,69	1,13	0,62	10,21
55	6,52	3,27	1,66	0,92	12,37
56	5,99	3,00	1,53	0,85	11,36
57	11,78	3,16	5,82	1,20	21,96
58	11,94	3,20	5,90	1,22	22,26
59	13,15	3,53	6,49	1,34	24,51
60	11,22	2,61	5,22	1,07	20,12
61	8,73	2,03	4,06	0,83	15,65
62	8,58	2,00	3,99	0,82	15,38
63	8,91	2,21	4,37	1,04	16,53
64	8,30	2,06	4,07	0,97	15,40
65	7,95	1,97	3,90	0,93	14,75
66	7,27	1,80	3,56	0,85	13,48
67	8,65	2,15	4,24	1,01	16,04
68	6,87	3,71	1,92	0,87	13,37

Apéndice 5. Resultados de los análisis en el laboratorio de suelos de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Machala, 2013

Nº Muestra	% Arena	% Arcilla	% Limo	Clase textural	CIC me/100g	% C O	% MO
1	40,68	27,32	32	Franco	22,00	1,16	2,00
2	42,68	27,32	30	Franco	23,00	1,28	2,21
3	48,68	27,32	24	Franco arcillo arenoso	19,20	1,24	2,14
4	44,68	19,32	36	Franco	25,20	1,2	2,07
5	48,68	19,32	32	Franco	20,40	1,2	2,07
6	46,68	17,32	36	Franco	24,60	1,2	2,07
7	54,68	9,32	36	Franco arenoso	19,20	0,68	1,17
8	48,68	9,32	42	Franco	22,80	1,16	2,00
9	52,68	11,32	36	Franco arenoso	22,00	1	1,72
10	40,68	25,32	34	Franco	20,40	1,16	2,00
11	58,68	13,32	28	Franco arenoso	21,80	1,72	2,97
12	58,68	7,32	34	Franco arenoso	32,80	4,08	3,59
13	60,68	7,32	32	Franco arenoso	26,00	4,24	3,86
14	48,68	9,32	42	Franco	26,00	1,68	2,90
15	64,68	9,32	26	Franco arenoso	21,20	2,4	4,14
16	66,68	11,32	22	Franco arenoso	14,00	1,04	1,79
17	64,68	11,32	24	Franco arenoso	13,40	1,12	1,93
18	56,68	9,32	34	Franco arenoso	23,80	2,68	4,62
19	56,68	9,32	34	Franco arenoso	20,60	0,88	1,52
20	56,68	17,32	26	Franco arenoso	13,40	1,56	2,69
21	64,68	15,32	20	Franco arenoso	14,40	1,6	2,76
22	52,68	1,32	46	Franco arenoso	16,40	1,84	3,17
23	64,68	17,32	18	Franco arenoso	14,20	1,36	2,34
24	58,68	15,32	26	Franco arenoso	13,60	1,52	2,62
25	62,68	13,32	24	Franco arenoso	15,00	1,04	1,79
26	58,68	13,32	28	Franco arenoso	17,00	1,64	2,83
27	56,68	15,32	28	Franco arenoso	13,80	1,68	2,90
28	52,68	5,32	42	Franco arenoso	19,60	1,52	2,62
29	38,68	35,32	26	Franco arcilloso	17,80	0,8	1,38
30	48,68	41,32	10	Franco arenoso	15,40	1	1,72
31	34,68	31,32	34	Franco arcilloso	11,60	1,84	3,17
32	38,68	27,32	34	Franco arcilloso	18,00	1,72	2,97
33	50,68	13,32	36	Franco	15,00	2,04	3,52

34	44,68	15,32	40	Franco	12,00	1,52	2,62
35	54,68	23,32	22	Franco arcillo arenoso	16,80	1,48	2,55
36	60,68	9,32	30	Franco arenoso	9,00	0,8	1,38
37	64,68	11,32	24	Franco arenoso	14,00	1,48	2,55
38	52,68	9,32	38	Franco arenoso	13,80	1,52	2,62
39	52,68	9,32	38	Franco arenoso	21,20	1,72	2,97
40	42,68	19,32	38	Franco	18,60	1,92	3,31
41	48,68	19,32	32	Franco	18,20	2	3,45
42	32,68	31,32	36	Franco arcilloso	11,80	0,56	0,97
43	60,68	23,32	16	Franco arcillo arenoso	10,80	0,48	0,83
44	54,68	23,32	22	Franco arcillo arenoso	12,20	0,04	0,07
45	48,68	19,32	32	Franco	14,40	1,68	2,90
46	50,68	17,32	32	Franco arenoso	24,40	0,44	0,76
47	52,68	15,32	32	Franco arenoso	13,80	0,96	1,66
48	40,68	35,32	24	Franco arcilloso	21,00	0,4	0,69
49	54,68	5,32	40	Franco arenoso	19,20	1,48	2,55
50	54,68	7,32	38	Franco arenoso	22,20	1,24	2,14
51	72,68	7,32	20	Franco arenoso	18,20	1,32	2,28
52	43,12	10,88	46	Franco	16,60	1,32	2,28
53	45,12	12,88	42	Franco	25,40	1,32	2,28
54	43,12	20,88	36	Franco	25,60	1,88	3,24
55	45,12	14,88	40	Franco	13,40	0,84	1,45
56	39,12	24,88	36	Franco	15,40	0,68	1,17
57	49,12	8,88	42	Franco	24,20	2	3,45
58	61,12	6,88	32	Franco arenoso	18,40	1,76	3,03
59	45,12	8,88	46	Franco	25,60	1,64	2,83
60	65,12	6,88	28	Franco arenoso	23,60	1,6	2,76
61	45,12	8,88	46	Franco	20,00	1,2	2,07
62	67,12	4,88	28	Franco arenoso	19,00	1,32	2,28
63	43,12	6,88	50	Franco	18,60	1,24	2,14
64	41,12	6,88	52	Franco limoso	20,60	1,2	2,07
65	55,12	4,88	40	Franco arenoso	23,40	2,36	4,07
66	55,12	6,88	38	Franco arenoso	25,20	2,72	4,69
67	47,12	20,88	32	Franco	24,40	1,36	2,34
68	63,12	12,88	24	Franco arenoso	14,80	0,72	1,24

Apéndice 6. Base de datos interpretada de los elementos en estudio según su análisis y su presencia en el suelo.

Nº Muestra	CO %	MO %	CIC	pH	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Fe	Cu	Zn	Mn	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺
1	1	2	3	2	1	5	3	5	3	4	5	5	5	5	3
2	1	2	3	2	1	5	3	5	3	4	5	5	5	5	3
3	1	2	3	2	1	5	3	5	3	4	5	5	5	5	3
4	3	2	3	3	1	5	5	5	5	5	5	5	5	5	2
5	1	2	3	2	1	5	3	5	3	4	5	5	5	5	3
6	1	2	3	2	1	5	3	5	3	4	5	5	5	5	3
7	2	1	3	4	2	5	3	5	5	4	5	5	5	5	3
8	2	2	3	3	1	5	3	5	4	4	5	5	5	5	3
9	1	1	3	2	1	5	2	5	4	3	5	5	5	5	2
10	1	2	3	2	1	5	2	5	4	3	5	5	5	5	2
11	2	2	3	2	1	5	2	5	4	4	5	5	5	5	3
12	2	2	4	3	1	5	3	5	4	4	5	5	5	5	3
13	2	2	3	3	1	5	3	5	4	4	5	5	5	5	3
14	2	2	3	2	1	5	2	5	4	4	5	5	5	5	3
15	2	3	3	3	1	5	5	5	4	5	5	5	5	5	2
16	2	1	2	2	1	5	5	5	3	5	5	4	5	5	2
17	2	1	2	2	1	5	5	5	3	5	5	4	5	5	2
18	2	3	3	2	1	5	5	5	3	5	5	4	5	5	2
19	2	1	3	3	1	5	5	5	4	5	5	5	5	5	2
20	2	2	2	2	1	5	5	5	3	5	5	4	5	5	2
21	2	2	2	2	1	5	5	5	3	5	5	3	5	5	2
22	2	2	2	4	1	5	5	5	4	5	5	4	5	5	2
23	1	2	2	2	1	5	5	5	3	3	5	2	4	5	2
24	1	2	2	2	1	5	5	5	3	3	5	2	4	5	2
25	1	1	2	1	1	5	5	5	3	3	5	2	4	5	2
26	1	2	2	2	1	5	5	5	3	3	5	3	4	5	2
27	1	2	2	2	1	5	5	5	3	3	5	3	4	5	2
28	2	2	3	3	1	5	4	5	2	3	5	5	5	5	3
29	2	1	2	2	1	5	3	5	2	2	5	5	5	5	2
30	1	1	2	2	1	5	2	5	2	2	5	5	5	5	3
31	1	2	2	2	1	5	2	5	2	2	5	5	5	5	2
32	1	2	2	2	1	5	2	5	2	2	5	5	5	5	3
33	4	2	2	3	1	5	5	5	5	5	5	5	4	5	2
34	3	2	2	2	1	5	5	5	5	4	5	4	4	5	2
35	4	2	2	3	1	5	5	5	5	5	5	5	4	5	2
36	4	1	2	2	1	5	5	5	5	4	5	5	4	5	2
37	3	2	2	3	1	5	5	5	2	3	5	4	5	5	2
38	2	2	2	2	1	5	4	4	1	2	5	2	4	5	2
39	2	2	3	2	1	5	4	4	1	2	5	2	4	5	1

40	2	2	3	2	1	5	4	4	1	2	5	2	4	5	1
41	2	2	3	2	1	5	4	4	1	2	5	2	4	5	1
42	1	1	2	1	1	5	4	4	1	1	5	2	3	5	1
43	1	1	2	2	1	5	2	3	2	1	5	3	5	5	2
44	1	1	2	2	1	5	2	2	1	1	5	3	4	5	2
45	1	2	2	2	1	5	2	2	1	1	5	3	4	5	2
46	1	1	3	2	1	5	2	2	1	1	5	3	5	5	2
47	1	1	2	2	1	5	3	5	2	2	5	4	5	5	2
48	1	1	3	2	1	5	2	5	3	1	5	5	5	5	3
49	3	2	3	4	1	5	2	5	4	2	5	5	5	5	3
50	2	2	3	2	1	5	2	5	3	2	5	3	5	5	2
51	2	2	3	2	1	5	2	5	3	2	5	4	5	5	2
52	2	2	2	3	1	3	2	5	3	5	5	5	5	5	2
53	1	2	3	2	1	2	2	5	2	4	5	4	5	5	2
54	1	2	3	2	1	2	2	5	2	3	5	3	5	5	2
55	1	1	2	2	1	2	2	5	1	1	4	4	5	5	2
56	1	1	2	2	1	2	1	5	1	1	4	3	5	5	2
57	1	2	3	2	1	2	2	5	2	2	5	5	5	5	3
58	1	2	3	2	1	2	2	5	2	2	5	5	5	5	3
59	1	2	3	2	1	2	2	5	2	2	5	5	5	5	3
60	1	2	3	3	1	5	4	5	2	2	5	5	5	5	3
61	1	2	3	2	1	5	3	5	1	2	5	5	4	5	2
62	1	2	3	2	1	5	3	5	1	2	5	5	4	5	2
63	1	2	3	2	1	5	3	5	2	2	5	5	4	5	2
64	1	2	3	2	1	5	3	5	2	2	5	5	4	5	2
65	1	2	3	2	1	5	3	5	2	2	5	4	4	5	2
66	1	3	3	2	1	5	3	5	2	2	5	4	3	5	2
67	1	2	3	2	1	5	3	5	2	2	5	5	4	5	2
68	1	1	2	2	1	5	2	5	2	1	5	4	5	5	2

Leyenda

1 = Muy bajo

2 = Bajo

3 = Medio

4 = Alto

5 = Muy alto

Apéndice 7. Base de datos interpretada para determinación del grado de fertilidad de los suelos.

N° Muestras	pH	C I C	Sum. Bases	%SB	CO %	N total %	P	Sumatoria	Dividir	Fertilidad	Interpretación
1	-3	12	15	20	1	1	11	57	10	6	Moderado
2	-2	13	15	20	2	1	11	60	10	6	Moderada
3	-2	10	15	20	2	1	11	57	10	6	Moderado
4	5	15	16	20	2	1	15	74	10	7	Moderado
5	0	10	16	20	2	1	12	61	10	6	Moderada
6	0	15	15	20	2	1	12	65	10	7	Moderada
7	15	10	16	20	0	-2	15	74	10	7	Moderada
8	5	13	14	20	1	1	15	69	10	7	Moderada
9	1	12	13	20	1	0	15	62	10	6	Moderada
10	1	10	13	20	1	1	15	61	10	6	Moderada
11	0	11	13	20	3	5	13	65	10	7	Moderada
12	8	20	15	20	5	15	15	98	10	10	Moderadamente Alto
13	7	16	15	20	5	15	15	93	10	9	Moderadamente Alto
14	0	16	13	20	3	4	13	69	10	7	Moderada
15	5	11	12	20	5	11	15	79	10	8	Moderada
16	-4	7	10	20	1	0	13	47	10	5	Baja
17	-4	7	10	20	1	1	13	48	10	5	Baja
18	2	14	11	19	5	13	15	79	10	8	Moderada
19	5	10	12	20	1	0	15	63	10	6	Moderada
20	-1	7	11	20	3	3	15	58	10	6	Moderada
21	-5	7	10	20	3	4	11	50	10	5	Baja
22	15	8	11	20	4	5	15	78	10	8	Moderada
23	-5	7	8	18	3	2	13	46	10	5	Baja
24	-5	7	7	19	3	3	12	46	10	5	Baja
25	-5	7	7	16	1	0	12	38	10	4	Baja
26	-4	9	8	15	3	4	13	48	10	5	Baja
27	-5	7	8	19	3	4	13	49	10	5	Baja
28	5	10	16	20	3	3	15	72	10	7	Moderada
29	-2	9	14	20	0	-1	15	55	10	6	Moderada
30	-3	8	15	20	1	0	13	54	10	5	Baja
31	-4	5	15	20	4	5	12	57	10	6	Moderada
32	-4	9	15	20	3	5	12	60	10	6	Moderada
33	4	7	13	20	4	7	11	66	10	7	Moderada
34	-2	6	12	20	3	3	9	51	10	5	Baja
35	3	9	13	20	3	3	11	62	10	6	Moderada
36	2	4	13	20	1	-1	11	50	10	5	Baja

37	15	7	11	20	3	3	15	74	10	7	Moderada
38	-2	7	7	17	3	3	15	50	10	5	Baja
39	-2	11	7	10	3	5	10	44	10	4	Baja
40	-2	10	7	12	4	6	10	47	10	5	Baja
41	-3	9	7	12	4	6	10	45	10	5	Baja
42	-5	6	6	17	-1	-2	8	29	10	3	Baja
43	1	5	10	20	-1	-3	15	47	10	5	Baja
44	-5	6	8	20	-3	-5	15	36	10	4	Baja
45	-3	7	9	20	3	4	15	55	10	6	Moderada
46	0	14	10	13	-1	-3	15	48	10	5	Baja
47	-2	7	11	20	1	0	15	52	10	5	Baja
48	-2	11	14	20	-2	-4	15	52	10	5	Baja
49	15	10	13	20	3	3	15	79	10	8	Moderada
50	-3	12	10	16	2	1	13	51	10	5	Baja
51	0	9	10	20	2	1	14	56	10	6	Moderada
52	10	8	12	20	2	1	3	56	10	6	Moderada
53	-2	15	10	14	2	1	1	41	10	4	Baja
54	-4	16	10	13	4	5	1	45	10	5	Baja
55	0	7	11	20	1	-1	1	39	10	4	Baja
56	-3	8	10	20	0	-2	0	33	10	3	Baja
57	-3	14	16	20	4	6	-1	56	10	6	Moderada
58	-2	10	16	20	3	5	-1	51	10	5	Baja
59	0	16	17	20	3	4	0	60	10	6	Moderada
60	8	13	15	20	3	4	15	78	10	8	Moderada
61	-2	10	13	20	2	1	15	59	10	6	Moderada
62	-2	10	12	20	2	1	15	58	10	6	Moderada
63	1	10	13	20	2	1	10	57	10	6	Moderada
64	0	10	12	20	2	1	9	54	10	5	Baja
65	-2	13	12	20	5	10	8	66	10	7	Moderada
66	-4	15	11	18	5	13	7	65	10	7	Moderada
67	1	14	13	20	3	2	9	62	10	6	Moderada
68	-4	7	11	20	0	-2	15	47	10	5	Baja



Apéndice 8. Preparación de las botellas de polietileno para Capacidad de Intercambio Catiónico



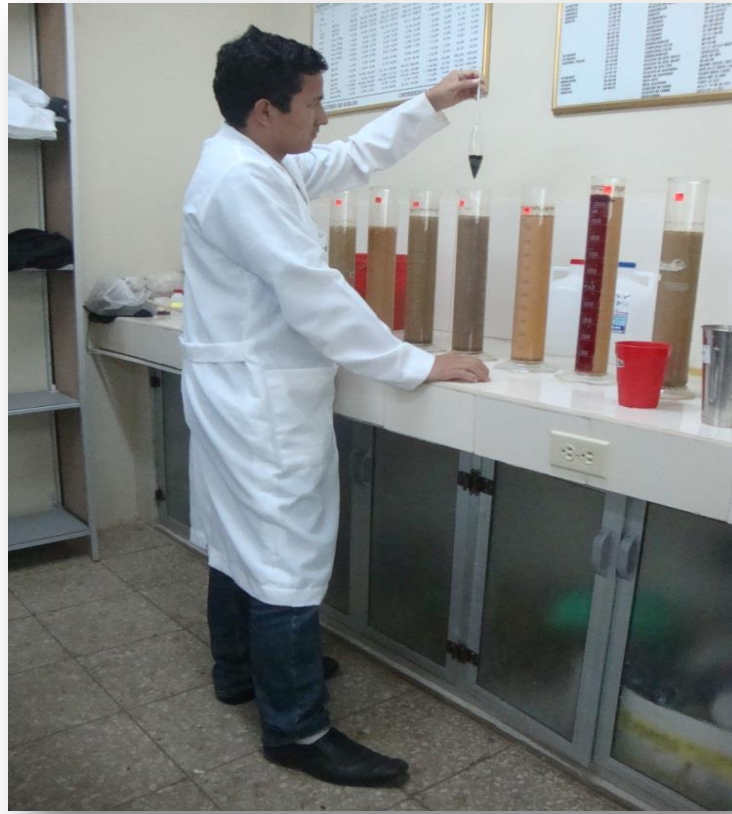
Apéndice 9. Imagen de la determinación de capacidad de intercambio catiónico



Apéndice 10. Imagen de la determinación de capacidad de intercambio catiónico



Apéndice 11. Imagen de la determinación de capacidad de intercambio catiónico



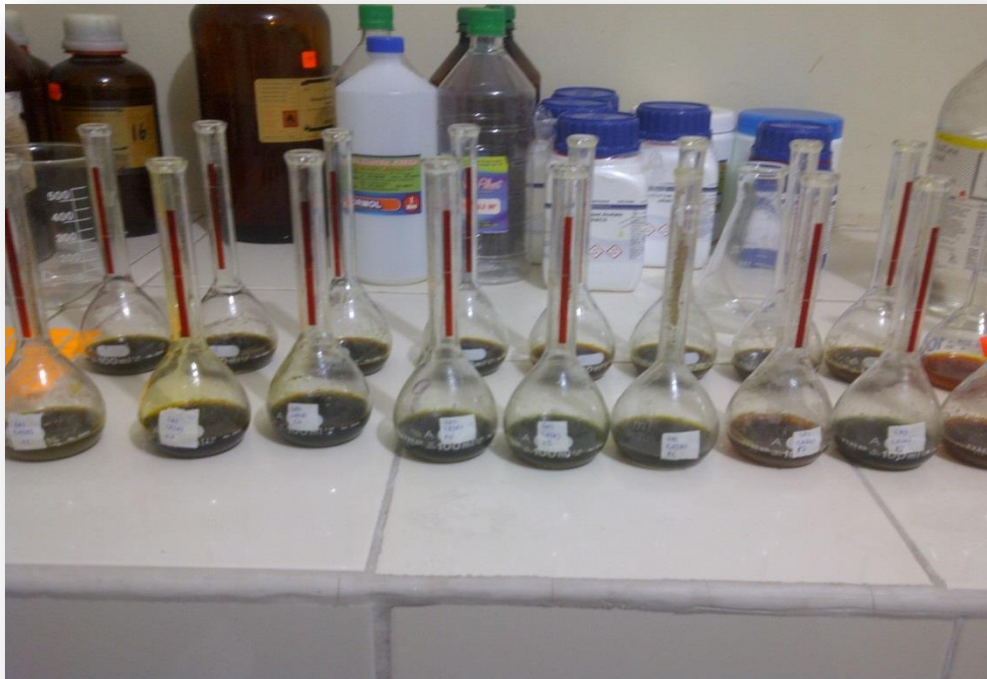
Apéndice 12. Imagen del análisis mecánico de las muestras de suelo del cantón Las Lajas.



Apéndice 13. Imagen del análisis mecánico del suelo



Apéndice 14. Titulación del gasto de sulfato ferroso amoniacal para Materia Orgánica



Apéndice 15. Imagen de la determinación de materia orgánica



Apéndice 16. Imagen de la determinación de materia orgánica



Apéndice 17. Reactivos utilizados en el Laboratorio de suelos para determinar la Materia Orgánica y Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)