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 CHILLA, PROVINCIA DE EL ORO

AUTOR:

SERGIO FABRICIO CAIMINAGUA PALTIN

DIRECTOR:

ING. AGRIC. JULIO CHABLA CARRILLO Mg.Sc

2014

CERTIFICO

Esta tesis 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

Ing. Agr. Abrahan Cervantes Alava Mg. Sc.

Miembro del Tribunal

Ing. Agr. Juan Gallardo Tinoco

Miembro del Tribunal

Los resultados y conclusiones obtenidos en este trabajo son de exclusiva responsabilidad del investigador

Sergio Caiminagua P.

DEDICATORIA

A Dios, el ser supremo, que me ha brindado el valor para salir adelante sin doblegarme ante las adversidades que se presentan en la vida, y así poder cumplir esta meta.

A mi querida hija Alice Carolina Caiminagua Pindo, que llegó a llenar mi vida de felicidad, y convertirse en mi principal razón para superarme con esfuerzo y perseverancia.

A mis hermanos, mis padres, y familiares, de manera muy especial a mi querida madrecita Lolita Paltin V. por su incondicional apoyo moral, económico y su comprensión durante toda mi vida estudiantil, enseñándome con su ejemplo de lucha hasta convertirme en un profesional..

Sergio Caiminagua P.

AGRADECIMIENTO

A mi Director el Ing. Julio Chabla Carrillo Mg. Sc., y a mis miembros del tribunal, quienes me brindaron sus conocimientos y apoyo en la culminación de este trabajo.

A la Ing. Norma Cruz por su certera ayuda en el laboratorio de suelos de la Facultad, a mis amigos y a todos los que me colaboraron de una u otra manera para que esta investigación pueda realizarse.

A la Universidad de Machala, a la Facultad de Ciencias Agropecuarias y a la Escuela de Ingeniería Agronómica, que me brindó verdaderos conocimientos científicos y prácticos través de sus catedráticos.

Al personal de secretaría, bodega, biblioteca, pos sus servicios prestados a lo largo de toda mi vida universitaria.

Sergio Caiminagua P.

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 de grado/ Trabajo de Titulación, de conformidad con las siguientes clausulas:

PRIMERA

Por sus propios derechos y en calidad de Director de Tesis la Ing. Agric. Julio Chabla Carrillo Mg. Sc. y el tesista Sr. Sergio Fabricio Caiminagua Paltin, por sus propios derechos, en calidad de Autor de tesis.

SEGUNDA

El tesista Sr. Sergio Fabricio Caiminagua Paltin, realizó la Tesis Titulada "MAPIFICACIÓN DEL GRADO DE FERTILIDAD DE SUELOS, MEDIANTE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG), DEL CANTÓN CHILLA 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. Sergio Fabricio Caiminagua Paltin, como autor de la misma, por medio del presente instrumento, tienen 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. Sergio Caiminagua Paltin
AUTOR

INDICE DE CONTENIDO

Tema	Pag.
1. Introducción	1
2. Revisiones de literatura	3
2.1 El suelo	3
2.2 Levantamiento de suelos	3
2.3 Fertilidad de suelos	4
2.4 Nitrógeno	4
2.4.1 Nitrógeno en el suelo	4
2.5 Fósforo	5
2.5.1 Fósforo en el suelo	5
2.6 Potasio	5
2.6.1 Potasio en el suelo	5
2.6.2 Clasificación del potasio del suelo	6
2.6.2.1 Potasio no asimilable	6
2.6.2.2 Potasio asimilable con rapidez	6
2.6.2.3 Potasio asimilable lentamente	6
2.7 Calcio	6
2.7.1 El calcio en el suelo	6
2.8 El magnesio	7
2.8.1 Magnesio en el suelo	7
2.9Hierro	8
2.9.1 El hierro en el suelo	8
2.10 Cobre	8
2.10.1 El cobre en el suelo	8
2.11 Zinc	9
2.11.1 El zinc en el suelo	9
2.12 Manganeso	9
2.12.1 El manganeso en el suelo	9
2.13 Sodio	10
2.14 Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	10
2.15 pH	10
2.15.1 pH del suelo.	10
2.16 Materia orgánica del suelo	11
2.16.1 Definición y propiedades del humus	11
2.16.1.1 Color.	12
2.16.1.2 Cohesión y plasticidad	12
2.16.1.3 Capacidad de adsorción	12
2.16.1.4 Presencia de nitrógeno, azufre y fósforo	13
2.16.1.5 Estructura amorfa	13
2.16.1.6 Estabilidad del humus	14
2.16.1.7 Hidrofilia	14

2.16.1.8 Acción microbiana 14
2.17 Composición mecánica del suelo 15
2.17.1 Características de las fracciones fundamentales 18
2.17.1.1 Arena 18
2.17.1.2 Limo 18
2.17.1.3 Arcilla 18
2.18 Sistema de información geográfica (SIG) 20
2.18.1 Los componentes de un SIG 21
2.18.1.1 Equipos (hardware) 21
2.18.1.2 Programas (software) 21
2.18.1.3 Datos 21
2.18.1.4 Recurso humano 21
2.18.1.5 Procedimientos 21
2.19 Zonificación 22
2.20 Base de datos geográficos 22
2.20.1 Atributos o datos gráficos y no gráficos 22
2.21 Unidad cartográfica de cultivos 23
2.22 Unidad cartográfica de suelos 23

3 Materiales y métodos 24
3.1 Materiales 24
3.1.1 Área en estudio 24
3.1.2 Coordenadas geográficas 24
3.1.3 Materiales utilizados 25
3.1.3.1 Materiales de laboratorio 25
3.1.4 Factores en estudio 25
3.2 Métodos 25
3.2.1 Metodología para cumplir con el primer objetivo 25
3.2.1.1 Protocolo de Bouyoucus, para determinar el análisis mecánico 25
3.2.1.2 Protocolo de Walkley Black, para determinar materia orgánica 26
3.2.1.3 Protocolo de Chapman, para determinar la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) 27
3.2.1.4 Protocolo del espectrofotómetro de absorción atómica, para determinarlaslecturas de N, P, K, Mn, Fe, Cu y Zn 28
3.2.1.5 Protocolo del espectrofotómetro de absorción atómica para determinar laslecturas de Ca, K, Na y Mg cambiables 28
3.2.2 Metodología para el segundo objetivo 30

4 Resultados y discusión 36
4.1 Mapas de los niveles de los elementos de la zona en investigación 36
4.1.1 Mapa de texturas 36
4.1.2 Mapa de los niveles de la materia orgánica 38
4.1.3 Mapa de los niveles de carbono orgánico 40
4.1.4 Mapa de los niveles de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) 42
4.1.5 Mapa de los niveles de pH 44
4.1.6 Mapa de los niveles de nitrógeno 46
4.1.7 Mapa de los niveles de fósforo 48
4.1.8 Mapa de los niveles de potasio 50
4.1.9 Mapa de los niveles de hierro 52

4.1.10 Mapa de los niveles de cobre 54
4.1.11 Mapa de los niveles de zinc 56
4.1.12 Mapa de los niveles de manganeso 58
4.1.13 Mapa de los niveles de sodio cambiable 60
4.1.14 Mapa de los niveles de potasio cambiable 62
4.1.15 Mapa de los niveles de calcio cambiable 64
4.1.16 Mapa de los niveles de magnesio cambiable 66
4.1.17 Mapa de los niveles de fertilidad 68

5. Conclusiones 70

6.Recomendaciones 71

7.Resumen 72

8.Summary 74

9.Bibliografía citada 75

Apéndice

INDICE DE CUADROS

Cuadro. **Pag.**

1. Interpretación de los principales nutrimentos del suelo del Sur del Ecuador 30
2. Puntaje y Apreciación de la Fertilidad de los Suelos 30
3.Superficie de distribución y representación en porcentajes de las clases texturales del cantón Chilla, 2013 37
4. Superficie de distribución y representación en porcentajes de la materia orgánica del cantón Chilla, 2013 41
5.Superficie de distribución y representación en porcentajes de Carbón Orgánico del cantón Chilla, 2013 39
6. Superficie de distribución y representación en porcentajes de la CIC del cantónChilla, 2013 43
7. Superficie de distribución y representación en porcentajes del pH del cantónChilla, 2013 45
8. Superficie de distribución y representación en porcentajes de los niveles de nitrógeno en el cantón Chilla, 2013 47
9. Superficie de distribución y representación en porcentajes de los niveles de fósforo en el cantón Chilla, 2013 49
10. Superficie de distribución y representación en porcentajes de los niveles de potasio en el cantón Chilla, 2013 51
11. Superficie de distribución y representación en porcentajes de los niveles de hierro en el cantón Chilla, 2013 53
12. Superficie de distribución y representación en porcentajes de los niveles de cobre en el cantón Chilla, 2013 55
13. Superficie de distribución y representación en porcentajes de los niveles de zinc en el cantón Chilla, 2013 57
14. Superficie de distribución y representación en porcentajes de los niveles de manganeso en el cantón Chilla, 2013 59
15. Superficie de distribución y representación en porcentajes de los niveles de sodio cambiable en el cantón Chilla, 2013 61
16. Superficie de distribución y representación en porcentajes de los niveles de potasio cambiable en el cantón Chilla, 2013 63
17. Superficie de distribución y representación en porcentajes de los niveles de calcio cambiable en el cantón Chilla, 2013 65
18. Superficie de distribución y representación en porcentajes de los niveles de magnesio cambiable en el cantón Chilla, 2013 67
19. Superficie de distribución y representación en porcentajes de los niveles de fertilidad en el cantón Chilla, 2013 69

INDICE DE FIGURAS

Figura.	Pag.
1. Triángulo de Clases Texturales	5
2. Salida y representación de la información de tipo espacial	
3. Elementos constituyentes de un Sistema de Información Geográfica, SIG	20
4. Atributos gráfico y no gráfico asociados	
5. Unidad cartográfica de suelos	22
6.Mapa del Ecuador en el que se ubica al cantón Chilla y la provincia de El Oro	25
7.Distribución gráfica en km^2 de las clases texturales en el cantón Chilla, 2013	37
8.Mapa de las clases texturales y su distribución en el cantón Chilla. 2013	38
9. Distribución gráfica en km^2 de la materia orgánica en el cantón Chilla, 2013	41
10. Mapa de los niveles de la materia orgánica y su distribución en el cantón Chilla. 2013	42
11.Distribución gráfica en km^2de la carbono orgánico en el cantón Chilla, 2013	39
12.Mapa de los niveles de carbono orgánico del cantón Chilla. 2013	40
13. Distribución gráfica en km^2 de la CIC en el cantón Chilla, 2013	43
14. Mapa de los niveles de la CIC del cantón Chilla. 2013	44
15. Distribución gráfica en km^2 del pH en el cantón Chilla, 2013	45
16. Mapa de los niveles de pH del cantón Chilla. 2013	46
17. Distribución gráfica en km^2 de los niveles de nitrógeno en el cantón Chilla, 2013	47
18. Mapa de los niveles de nitrógeno y su distribución en el cantón Chilla. 2013	48
19. Distribución gráfica en km^2 de los niveles de fósforo en el cantón Chilla, 2013	49
20. Mapa de los niveles de fósforo del cantónChilla. 2013	50
21. Distribución gráfica en km^2 de los niveles de potasio en el cantón Chilla, 2013	51
22. Mapa de los niveles de potasio del cantón Chilla. 2013	52
23. Distribución gráfica en km^2 de los niveles de hierro en el cantón Chilla, 2013	53
24. Mapa de los niveles de hierro del cantón Chilla. 2013	54
25. Distribución gráfica en km^2 de los niveles de cobre en el cantón Chilla, 2013	55

26. Mapa de los niveles de cobre del cantón Chilla. 2013 56
27. Distribución gráfica en km^2 de los niveles de zinc en el cantón Chilla, 2013 57
28. Mapa de los niveles de zinc del cantón Chilla. 2013 58
29. Distribución gráfica en km^2 de los niveles de manganeso en el cantón Chilla, 2013 59
30. Mapa de los niveles de manganeso del cantón Chilla. 2013 60
31. Distribución gráfica en km^2 de los niveles de sodio cambiable en el cantón Chilla, 2013 61
32. Mapa de los niveles de sodio cambiable del cantón Chilla. 2013 62
33. Distribución gráfica en km^2de los niveles de potasio cambiable en el cantón Chilla, 2013 63
34. Mapa de los niveles de potasio cambiable del cantón Chilla. 2013 64
35. Distribución gráfica en km^2 de los niveles de calcio cambiable en el cantón Chilla, 2013 65
36. Mapa de los niveles de calcio cambiable del cantón Chilla. 2013 66
37. Distribución gráfica en Km^2 de los niveles de magnesio cambiable en el cantón Chilla, 2013 67
38. Mapa de los niveles de magnesio cambiable del cantón Chilla. 2013 68
39. Distribución gráfica en Km^2 de los niveles de fertilidad en el cantónChilla, 2013 69
40. Mapa de los niveles de fertilidad del cantón Chilla. 2013 70

1. INTRODUCCIÓN

Suelo, es el sustrato formado a través del tiempo y por la interacción de los diferentes factores climáticos que actúan sobre la roca madre que es de donde proviene la capa arable a la cual va a dar origen. Dependiendo de este material parental se va a determinar las características, físicas y químicas futuras de la tierra, las cuales darán paso a la fácil o difícil transportación de los nutrimentos que las plantas necesitan.

El complejo del suelo es el responsable de la nutrición de las plantas ya que contiene en su interior los elementos que ellas necesitan. Éstos dependen directamente de las propiedades físicas y químicas de la tierra que estriba en el porcentaje de las fracciones de arena, limo y arcilla en que se encuentren presentes, además de la cantidad de materia orgánica, para su fijación en el suelo y así poder las raíces de las plantas tomarlos.

Para el conocimiento de las condiciones en la actualidad del estado de formación cartográfica se están utilizando los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Los SIG, así como los datos geográficos, la cartografía y el monitoreo del espacio temporal del uso de la tierra permiten profundizar el análisis integrado de la dinámica espacial temporal del uso de las tierras y de las medidas de sostenibilidad agrícola que pueden ser confrontados cartográficamente, y de forma digital, con la capacidad de producción de los recursos naturales involucrados.

La realización tuvo efecto en el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Machala, los procedimientos fueron elaborados por el autor a excepción de los que fueron contratados por no poder contar con la infraestructura en el laboratorio para realizarlos.

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 Chilla.

Objetivos Específicos:

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

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

2.REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 EL SUELO

Córdova (1976) expresa que por suelo debe entenderse al substrato sólido formado por la roca madre y los materiales de esta roca alterados por agentes físicos, químicos, y biológicos. Estos es, las modificaciones que todos estos agentes causan sobre las rocas que forman una capa apelmazada, porosa, embebida en agua, rica en nutrientes móviles, inorgánicos u orgánicos en algunos casos, sobre la que tipos determinados de plantas pueden desarrollarse iniciando un intercambio entre su sistema radículas y este complejo ambiente exterior que les rodea.

Según Mazliak(1976) la puesta a punto de soluciones minerales favorables al crecimiento de tejidos, órganos u organismos vegetales por una parte, y el análisis detallado de los elementos minerales presentes en los más diversos tejidos por otra, han permitido destacar el carácter indispensable de la presencia de ciertos elementos minerales en las plantas. Estos minerales metabólicos son constituyentes obligados de la materia vegetal y ellos intervienen comúnmente como integrantes o cofactores precisos de innumerables enzimas; por lo mismo, su suministro a la planta es condición absoluta para una fisiología normal, no patológica.

2.2LEVANTAMIENTO DE SUELOS

Según Porta, Lopez y Roquero de Laburu (2003) manifiestan que el levantamiento de suelos reside en describir las características y propiedades de un área determinada, clasificarlos y situar los límites en un mapa. Con ello se conoce la distribución en el paisaje y se podrá hacer predicciones acerca de su comportamiento y establecer cómo se pueden utilizar. Un levantamiento de suelos constituye una de las aplicaciones más útiles de la ciencia, ya que permite predecir las propiedades de un determinado lugar sin necesidad de haberlo prospectado.

En la actualidad, un levantamiento o estudio agrologico es el proceso de estudiar una porción de la superficie terrestre en términos de unidades llamadas tipos de suelo y producir un mapa de los mismos .en consecuencia, la información de un levantamiento agrologico incluye dos partes: (1) el mapa de suelos, que va acompañado por (2) una descripción del área mostrada en el mapa de acuerdo a Foth(1985)

2.3 FERTILIDAD DEL SUELO

Domínguez (1989) señala que existen tres procedimientos principales para tratar de enmendar el nivel de fertilidad del suelo: análisis de suelos, análisis de plantas, y experiencias de campo.

Según Fuentes (2002) la fertilidad del suelo es su capacidad para suministrar elementos nutritivos a las plantas. La fertilidad natural de un suelo depende, sobre todo, de su capacidad de retener a los elementos nutritivos durante cierto tiempo para ponerlos a disposición de las plantas conforme a sus necesidades nutritivas y, de esta forma, disminuir las pérdidas por lavado.

INPOFOS (2002) Manifiesta que los suelos son el medio en el cual los cultivos crecen para alimentar y vestir al mundo. La fertilidad de los suelos es entender una necesidad básica de la producción de los cultivos, lo cual es vital para un suelo productivo. Un suelo fértil no tiene necesariamente que ser un suelo productivo. Drenaje insuficiente, insectos, sequía y otros factores pueden limitar su producción, aun teniendo fertilidad adecuada. Para comprender mejor la fertilidad del suelo, se debe conocer los factores que favorecen o limitan la productividad.

2.4 NITRÓGENO

2.4.1 Nitrógeno en el suelo

Fuentes (1989) manifiesta que en el suelo el nitrógeno se encuentra bajo dos formas como orgánico y como inorgánico. El nitrógeno orgánico forma parte de la materia orgánica que es el resultado de la descomposición de los organismos vegetales y animales. Al nitrógeno inorgánico se lo encuentra en diversas formas: NH^{+}_{4}, $NO^{-}_{3,}$ NO^{-}_{2}, N_2O, NO, N_2. El ión amonio (NH^{+}_{4}) es adsorbido por los coloides del suelo, mientras que una mínima proporción se disuelve en el agua del suelo. Los iones nitrato (NO^{-}_{3}) y nitrito (NO^{-}_{2}) están libres en la disolución del suelo. Las formas adsorbidas en los coloides o contenidas en la disolución del suelo representan apenas el 2% del nitrógeno total del suelo, pero son de gran importancia puesto que las plantas lo absorben bajo esas formas.

Fuentes (1989) también manifiesta que los nitratos bajo ciertas condiciones se reducen y dan formas nitrogenadas gaseosas (N_2O, NO, N_2) y que pasan a formar parte de la atmósfera

Iñiguez(2007) expresa que la mayor parte del nitrógeno presente en el suelo procede de la atmósfera. Existe más de 2000 minerales y solo hay dos que contienen nitrógeno:

Nitrita(NO_3Na) y Nitro (NO_3K). El nitrógeno molecular (N_2), que constituye el 78% de la atmósfera, es muy estable, pues requiere una gran cantidad de energía para romper su molécula y, por tanto, no ser utilizado por los organismos vivos, salvo el caso de algunos microorganismos. El nitrógeno debe combinarse bioquímicamente para pasar a las formas disponibles: (NH_4^+, y NO_3^-).

2.5 FÓSFORO

2.5.1 Fósforo en el suelo

Navarro (2003) manifiesta que la mayor parte del fósforo del suelo lo absorben las plantas en forma $PO_4H_2^-$ y en menor proporción como PO_4H^{-2}. De hecho la absorción del primero es diez veces más rápido que la del segundo, aunque hay que tener en cuenta que en este proceso ejerce mucha influencia el pH del suelo.

INPOFOS (1997) manifiesta textualmente que "el fósforo soluble en el suelo, sin importar que este venga de la apatita, fertilizante, estiércol o materia orgánica, forma compuestos con el calcio, hierro y aluminio y manganeso o se enlaza con la superficie reactiva de ciertos minerales arcillosos como la caolinita, los óxidos de aluminio y hierro en los suelos tropicales rojos y la alófana, imogolita y complejos de humus – aluminio de suelos derivados de ceniza volcánica."

2.6 POTASIO

2.6.1 Potasio en el suelo

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

El potasio inorgánico presente en el suelo es mayor al de cualquier otro nutrimento con valores de 1,5 a 2,0 %, esta contenido principalmente en los minerales silicatados y es liberado por la alteración de estos minerales. 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.

El 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%.

2.6.2 Clasificación del potasio del suelo

Fuentes (1989) clasifica al potasio desde el punto de vista de su aprovechamiento por las plantas de la siguiente forma:

2.6.2.1 Potasio no asimilable

Representa la mayor parte del potasio presente en el suelo ya que se encuentra formando parte de las estructuras de ciertos minerales primarios (feldespatos y micas) y secundarios (arcillas).

2.6.2.2 Potasio asimilable con rapidez

El potasio contenido en la disolución del suelo y el potasio intercambiable adsorbido a los coloides del suelo son los q se asimilan son rapidez. Normalmente en los suelos el potasio que se asimila con rapidez representa de 1 a 2% del total contenido en el suelo. De esta cantidad, apenas un 10% está presente en la disolución, y el resto esta adsorbido a los colides.

2.6.2.3 Potasio asimilable lentamente

En algunas ocasiones los K^+ de la disolución del suelo quedan atrapados entre las capas de algunas arcillas cristalinas (proceso de retrogradación) por lo que imposibilita su absorción por parte de las plantas. Este potasio puede volver a estar disponible luego de algún tiempo por acción de determinadas condiciones, queda liberado (proceso de regeneración) y está disponible para las plantas en la disolución del suelo.

2.7 CALCIO

2.7.1 El calcio en el suelo

Iñiguez(2007) formula 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.

Domínguez (1989) afirma que existen tres tipos de componentes de Ca, los principales en el sistema suelo planta:

a) Fracción mineral que forman los feldespatos, calizas diversas y apatitas y variados compuestos de fósforo.

b) La fracción absorbida en el complejo coloidal en la que el calcio juega un excelente papel de floculante.

c) El Ca^{++} en la solución del suelo.

2.8 EL MAGNESIO

2.8.1 Magnesio en el suelo

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:

1) 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.

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

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

Fuentes (1989) afirma que el magnesio se encuentra en el suelo bajo dos formas, soluble e insoluble. Las formas insolubles (que son los silicatos) son los más abundantes: pero para que pasen a formas solubles dependen de la acción de los agentes atmosféricos en un proceso muy lento. Los suelos que tienen abundancia en el elemento magnesio son aquellos que proceden de la roca madre dolomita o calizas o margas dolomíticas

2.9 HIERRO

2.9.1 El Hierro en el suelo

Plaster (2005) manifiesta que en su mayoría los suelos tienen suficiente hierro y que este elemento forma parte de muchas enzimas que intervienen en la formación de muchas sustancias químicas como la clorofila. Gran parte del hierro presente en el suelo se encuentra en forma de compuestos insolubles como el hidróxido férrico $Fe(OH_3)$.

Domínguez (1989) dice que la fracción solida de hierro está formada por óxidos, hidróxidos, silicatos, polisulfuros, fosfatos y carbonatos. El compuesto más importante es la hematita (Fe_2O_3) debido a su estabilidad termodinámica. En solución y dependiendo del pH del suelo existen los iones ferrosos (Fe^{+2}) y férrico (Fe^{+3}), así como algunos hidróxidos disociados $Fe(OH)^{+}_2$ y $FeOH^{+2}$.

2.10 COBRE

2.10.1 El 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.

Urbano (1992) menciona que el cobre frecuentemente esta combinado en compuestos minerales; calcopirita (sulfuro de cobre y hierro), calcosita (sulfuro de cobre), Malaquita y azurita (carbonatos de cobre). La meteorización de estos minerales liberará Cu^{+2}, que, a su vez, se puede fijar por algunas partículas o pasar a las soluciones del suelo.

2.11 ZINC

2.11.1 El Zinc en el suelo

Fuentes (1989) expresa que para la formación de clorofila la presencia del zinc es imprescindible debido a que interviene como activador de algunas funciones importantes y participa en la formación de las auxinas y hormonas del crecimiento. La disponibilidad para la asimilación de este elemento se condiciona a la presencia en el suelo de otros iones antagónicos (exceso de fósforo y un pH muy alto). Por tanto, las carencias de este elemento en las plantas pueden producirse por:

- Escasez de zinc en el suelo.
- Exceso de abonos fosfórico, que dan lugar a la formación de fosfatos de zinc insolubles.
- Encalados excesivos, que producen la insolubilidad del zinc.

Fuentes (1989) también manifiesta que para corregir las carencias de zinc se debe evitar las causas que la producen. Las carencias por falta de zinc se corrigen fácilmente con aportaciones de sulfato o quelato de zinc. Los productos anticriptogámicos a base de carbonato de zinc también son eficaces para prevenir las carencias.

2.12 MANGANESO

2.12.1 El Manganeso en el suelo

Iñiguez(2007) formula 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.

Iñiguez(2007) manifiesta que 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.

2.13 SODIO

En el suelo, el sodio procede de los minerales silicatados, como hornblenda y moscovita. Los más ricos son los que durante mucho tiempo se han encontrado inundados por el agua del mar, suelos abonados regularmente con fertilizantes sódicos, y aquellos originados bajo climas áridos según dice Navarro (2003)

2.14 CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIÓNICO (CIC)

INPOFOS (1997) afirma que la Capacidad de Intercambio Catiónico depende de la cantidad y tipo de arcillas y del contenido de materia orgánica presentes en el suelo. Si un suelo tiene mayor cantidad de arcillas puede retener más cationes intercambiables, lo contrario sucederá si el suelo tiene bajo contenido de arcillas. La CIC también aumenta a medida que se incrementa el contenido de materia orgánica. Los valores de CIC son bajos en lugares donde los suelos son muy meteorizados y tienen contenidos bajos de materia orgánica. En sitios donde el suelo es menos meteorizado y con contenidos altos de materia orgánica, los valores de CIC pueden ser altos. Los suelos arcillosos con una alta CIC pueden retener una gran cantidad de cationes y prevenir la pérdida potencial por lixiviación (percolación). Los suelos arenosos con baja CIC, retiene cantidades más pequeñas de cationes.

Fuentes (1989) menciona textualmente que "una partícula coloidadal, mineral u orgánica está rodeada por una película de miles de cationes adsorbidos. Estos cationes adsorbidos no son removidos por el agua de lavado, pero pueden ser reemplazados por otros cationes contenidos en la solución del suelo. Por ejemplo, si una partícula coloidal que tiene adsorbidos, entre otros, iones de hidrógeno (H^+) e iones de calcio (Ca^{2+}) se pone en contacto con una solución que contiene iones de potasio (K^+), estos últimos sustituyen a los anteriores, quedando adsorbidos los iones de potasio y liberados los iones de calcio y de hidrógeno, que pasan a la solución del suelo. El intercambio se produce de tal forma que un catión monovalente se intercambia con otro monovalente, uno divalente reemplaza a dos monovalentes, y así sucesivamente."

2.15 pH

2.15.1 pH del suelo.

Fuentes (1989) expresa que se debe distinguir entre acidez actual y acidez cambiable, la primera se determina por la concentración de iones de hidrógeno (H^+) contenidos en la solución del suelo. Esta concentración es pequeña, por lo que se expresa con la notación pH

(potencial de hidrógeno), que es el exponente cambiado de signo, al cual se debe elevar 10 para obtener la concentración molar de iones hidrógeno en una disolución determinada.

Fuentes (1989) también manifiesta que el pH varía teóricamente entre 0 y 14, aunque en la mayoría de los suelos está comprendido entre 5.5 y 8.5. Cuando el pH = 7 la disolución es neutra. Si el pH es inferior a 7, la disolución es ácida, y será tanto más ácida cuanto menor sea el valor del pH. Si el pH es superior a 7, la disolución es básica, y será tanto más básica cuanto mayor sea su pH.

2.16 MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO

Buckman y Brady(1987) manifiestan que la materia orgánica del suelo representa una acumulación de las plantas parcialmente destruidas y parcialmente sintetizadas, y de los residuos de animales. Este material esta en activo estado de desintegración, y sujeto al ataque por parte de los microorganismos del suelo. Por consiguiente, es mas bien un constituyente transitorio del suelo y debe ser renovado constantemente por la adición de los residuos de las plantas superiores.

Según Milthorpe y Moorby(1976) la cantidad de materia orgánica existentes en los suelos puede variar ampliamente. Es un constituyente importante del suelo que afecta a la estructura de éste, actúa como lugar de reserva de los nutrientes (e.g. de N, que eventualmente se vuelve disponible para la planta) y es la fuente de nutrientes para la microflora y la microfauna del suelo. La materia orgánica es al principio una mezcla heterogénea de restos de vegetales y animales para, después de sufrir una descomposición, volverse un material amorfo bastante estable llamado humus. Además, parece que las raíces de las plantas producen una cantidad considerable de material, que en ocasiones representa el 10% o más del carbono transportado en las raíces. Este material, llamado exudado radical, es una mezcla de carbohidratos, ácidos orgánicos y aminoácidos.

Mela(1963) expresa que siendo las materias vegetales las fuentes más importantes del complejo orgánico del suelo, interesa conocer los componentes que las integran, ya que de ellos dependerá en buena parte las características del humus a que den lugar.

2.16.1 Definición y propiedades del humus

Mela(1963) dice que se define al humus como un complejo muy heterogéneo producido por la acción enzimática microbiana sobre los restos vegetales. Sus características coloidales son de

gran intensidad, superando muy ampliamente a las de las arcillas, de la cual se diferencia, además, por ser de naturaleza amorfa, ya que hasta ahora no se ha encontrado en el humus manifestaciones cristalinas.

2.16.1.1 Color.

Mela(1963) expresa que depende del predominio de los ácidos húmicos pardos o grises. Los primeros se presentan preferentemente en las turberas y son característicos de algunos suelos típicos como los podzoles, mientras que los últimos son propios de las tierras negras, si bien en ellas también se encuentran ácidos humínicos pardos.

Mela(1963) indica en relación con las características climáticas se observa que el color es más oscuro en las zonas semiáridas, no lo es tanto en las templadas con fuertes precipitaciones y alcanza un mínimo en las regiones tropicales, por ser pigmento de débil coloración. Así pues, el color puede considerarse como función del clima, aunque no en términos absolutos, ya que existen excepciones que pueden inducir a un error.

2.16.1.2 Cohesión y plasticidad

Mela, 1963 explica que el humus es muy poco cohesivo y plástico, por lo que su densidad aparente es mucho menor que la de la arcilla. Por ello, goza de la propiedad de corregir las tierras fuertes, la cual se manifiesta con caracteres muy señalados, pues bastan cantidades relativamente pequeñas de materia orgánica para mejorar notablemente las condiciones del cultivo. De su influencia beneficiosa puede juzgarse teniendo en cuenta que en los suelos sueltos y por lo tanto muy apelmazados, la acción microbiana es muy escasa, así como también el intercambio iónico. Al aumentar la porosidad penetran fácilmente en la tierra el aire y el agua, siendo ésta retenida en mayor proporción. Basta añadir material vegetal a un suelo pobre en humus para que inmediatamente se inicie una intensa vida microbiana y con ella la síntesis húmica.

Da lugar a una buena estructura, estable. Las sustancias húmicas tienen un poder aglomerante, las cuales se unen a la fracción mineral y dan buenos flóculos en el suelo, mayor porosidad y la permeabilidad del suelo. Influye en el estado de dispersión/floculación del suelo (1).

2.16.1.3 Capacidad de adsorción

Mela (1963) expone que el intercambio iónico y la adsorción catiónica aparecen en el humus cono fenómenos sumamente complejos, ya que las substancias que lo integran se comportan a

este respecto de modo muy diverso. Por otra parte, los resultados difieren considerablemente según el modo de operar, ya que en ellos influye notablemente la naturaleza de los compuestos que se emplean. Así, por ejemplo, los ácidos humínicos, cuyo pH medio suele ser de 4.4, parece que son tetra básicos y, según el procedimiento seguido para determinar la capacidad de cambio, se obtienen valores que oscilan de 150 a 300 me, en lo cual influyen ambos iones, y así ocurre que los alcalinos y los acetato se muestran más capaces que los alcalinos térreos y os hidróxidos, siendo, al parecer, netamente inferiores para, los cloruros. Las humoligninas dan con acetato bárico unos 20 me., pero llegan a 50 me. si se emplea una disolución de sosa.

Las sustancias húmicas tienen propiedades coloidales, por su tamaño y carga retienen agua, hinchan y contraen, fijan soluciones en superficie, dispersan y floculan. La materia orgánica es por tanto una fase que reacciona con la solución del suelo y con las raíces. Tiene gran capacidad de cambio ya que la materia orgánica fija iones de la solución del suelo, los cuales quedan débilmente retenidos, están en posición de cambio, evita por tanto que se produzcan pérdidas de nutrientes en el suelo (1).
La acidez total de las fracciones aislada de humus oscilan entre 300 a 1400 me/100gr. Puede incrementar significativamente la capacidad de intercambio catiónico del suelo ya que es responsable del 20 a 70% de la misma (2)

2.16.1.4 Presencia de nitrógeno, azufre y fósforo

Mela (1963) señala que la presencia de estos elementos trivalentes ha sido comprobada indubitablemente, y su importancia es muy grande en la alimentación de las plantas.

2.16.1.5 Estructura amorfa

Según Mela (1963) la amplia labor realizada a este respecto no ha logrado encontrar la menor manifestación cristalina, por lo que, al menos de momento, hemos de considerar el humus como totalmente amorfo. La aplicación de los Rayos X y la del microscopio electrónico no han dado otro resultado que el de apreciar unos a modo de anillos que aparecen en su masa.

Mela (1963) sustenta que su estructura se cree sería la de capas superpuestas, cuyo grosor superaría al de la organización laminar, bien delimitadas y agrupadas para integrar la molécula en cuyos extremos se unirían los grupos activos que son característicos de algunos

(1)http://agronomia.uchile.cl/
(2)http://www.fagro.edu.uy/

compuestos como el carbón de hollín. Sin embargo, parece que tales ideas no pasan de ser, al menos de momento, más que meras elucubraciones teóricas.

2.16.1.6 Estabilidad del humus

Mela(1963) manifiesta que se trata de un complejo mucho menos estable que la arcilla, lo cual dimana de su naturaleza orgánica que lo hace muy sensible al ataque microbiano. Sin embargo, su materia prima, o sea la lignina y también las resinas, gomas, etc., presentan notable resistencia a la acción biológica, hasta el punto que la lignina artificialmente obtenidas, se ha conservado intacta durante diez años, lo cual no ocurre si se trata de la lignina natural, que experimenta, aunque lentamente, las acciones que terminan por transformarla en los compuestos que integran la mayor parte del humus elaborado.

2.16.1.7 Hidrofilia

Mela(1963) declara que la cantidad de agua que absorbe el humus es muy superior a las que absorben los restantes componentes del suelo, ya que puede llegar al 80% de su peso, mientras que las arcillas, que también gozan de dicha propiedad, difícilmente llegan a retener más del 18%. Esto se debe a la escasa cohesión y densidad aparente del humus, así como también a su elevado poder de cementación de las partículas, pues la coagulación produce una interface muy superior a la ya elevada de la arcilla, la cual tiene tan elevado porcentaje de humedad. Los suelos arcillosos experimentan muy favorables modificaciones en su estructura cuando se les agrega materia orgánica, la que les confiere la soltura y porosidad adecuada para intensificar la retención hídrica y la actividad microbiana, a más de facilitar las labores, pero no solamente disminuye la capacidad sino que aumenta el buen tempero, ventaja esta de gran importancia en las explotaciones de secano, ya que nos permite disponer de más tiempo para realizar las labores.

La materia orgánica puede retener hasta 20 veces su peso en agua y ayuda previniendo la desecación y contracción del suelo. Puede mejorar significativamente la capacidad de absorber agua de los suelos arenosos (3).

2.16.1.8 Acción microbiana

La materia orgánica tiene tanto un efecto directo como indirecto sobre la disponibilidad de nutrientes para el crecimiento vegetal. Para servir como fuente de N, P, y S a través de su

(3)http://www.fagro.edu.uy/

mineralización por los microorganismos del suelo, la materia orgánica influye el aporte de nutrientes desde otras fuentes. Por ejemplo la materia orgánica se requiere como fuente de energía para la fijación bacteriana de N, por lo tanto la cantidad de N2 molecular fijado por los fijadores libres será influenciada por la cantidad de energía disponible en la forma de carbohidratos (3).

Mela (1963) revela que hasta el momento no se ha demostrado intervención microbiana de ninguna especie en la actividad del complejo arcilloso, pero juega un papel fundamental en cuanto al humus se refiere, hasta el punto de que sin ella no es posible la formación, lo cual queda demostrado como lo es en los suelos áridos. En el que el suelo a falta de humedad reduce extraordinariamente la masa vegetal y por ende las aportaciones orgánicas. Cuando el clima sea extremadamente seco las aportaciones orgánicas artificiales, como el estiércol, no producirán los resultados apetecidos, ya que la falta de humedad hace imposible la vida microbiana.

La falta de los microzoos en la génesis húmica puede asimilarse, en líneas generales, a una combustión lenta, con la correspondiente liberación de energía, que queda bien patente por el desprendimiento de calor característico de dicho fenómeno.

2.17 COMPOSICIÓN MECÁNICA DEL SUELO

El suelo puede dividirse apropiadamente en tres fases: sólida, líquida y gaseosa. La fase sólida constituye aproximadamente el 50% del volumen de la mayor parte de los suelos superficiales y consta y consta de una serie de partículas inorgánicas y orgánicas cuyo tamaño y forma varían considerablemente. La distribución proporcional de los diferentes tamaños de partículas minerales determina la textura de un suelo determinado. Los tamaños de las partículas minerales y la proporción relativa de los grupos por tamaños, varían considerablemente entre los suelos, pero no se alteran fácilmente en un suelo determinado. Así, la textura del suelo se considera una de las propiedades básicas (4).

Mela (1963) expresa que a pesar de que los límites establecidos por la Sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo tienen mucho de convencionales, es lo cierto que, la mayor parte de los fragmentos superiores a 2 mm.son trozos de roca y se hallan, por ello, integrados por distintos minerales, mientras que los de tamaño inferior se componen generalmente de un solo mineral. En otros términos, los elementos gruesos son, en su mayor parte, producidos por la agrupación de dos o más minerales, mientras que los finos (hasta de 0,002 mm.) se reducen a

(3)http://www.fagro.edu.uy/
(4) http://www.monografias.com

un solo, aislado por erosión física. El límite de la arcilla se justifica también, ya que para diámetros inferiores a 0,002mm. las partículas se han producido, casi exclusivamente, mediante la acción química. Sin embargo, lo expuesto no tiene carácter absoluto, dado que la erosión mecánica da lugar, a veces, a partículas que pueden incluirse en las arcillas, mientras que los procesos químicos no llegan siempre a reducir su tamaño su tamaño para que el diámetro sea inferior al citado límite.

Mela (1963) indica las cifras fijadas para otras fracciones se han procurado establecer de acuerdo con las propiedades físicas correspondientes a los diversos tamaños, si bien se comprende fácilmente que las partículas de diámetro próximo a ellas les presente muy semejante.

Mela(1963) explica los elementos de diámetro superior a 2mm. pueden separarse por tamización, así como la arena gruesa, pero las partículas más finas solo pueden ser aisladas por sedimentación, aplicándose la Ley de Stokes, que se basa en la siguiente fórmula:

$$V = \frac{2_g(d - d')}{9C_v} r^2$$

Donde:

V = Velocidad de caída de una partícula
r = Radio de la partícula esférica
d = Densidad de la partícula esférica
d' = Densidad del liquido
C_v = Coeficiente de viscosidad del líquido
g = Gravedad

Mela, 1963 expone cuando se trata del mismo líquido y de la misma substancia en el dispersa, la fracción es constante, y representándola por K, tendremos:

$$V = K\ r^2$$

la cual podemos expresar diciendo que "la velocidad de caída de cada partícula es directamente proporcional al cuadrado de su radio", y para radios constantes tendremos que V será constante.

Mela (1963) señala pero en la práctica no ocurren las circunstancias citadas, ya que la forma de las partículas dista más o menos de la esférica, por lo cual se atiende, para la clasificación,

a las que se depositan dentro de los límites de tiempo determinados, lo que da a lugar algunos errores que en la práctica pueden despreciarse.

Los nombres de las clases de textura se utilizan para identificar grupos de suelos con mezclas parecidas de partículas minerales. Los suelos minerales pueden agruparse de manera general en tres clases texturales que son: las arenas, las margas y las arcillas, y se utiliza una combinación de estos nombres para indicar los grados intermedios. Por ejemplo, los suelos arenosos contienen un 70 % o más de partículas de arena, los areno-margosos contiene de 15 a 30 % de limo y arcilla. Los suelos arcillosos contienen más del 40 % de partículas de arcilla y pueden contener hasta 45 % de arena y hasta 40 % de limo, y se clasifican como arcillo-arenosos o arcillo-limosos (5).

Para determinar el tipo de suelo de acuerdo al porcentaje de sus componentes minerales, es decir, para hacer la clasificación de las texturas se utiliza el denominado Triángulo de clases de texturas de suelos, una vez que se ha determinado experimentalmente la proporción de las partículas constitutivas de un suelo (Figura 1) (5).

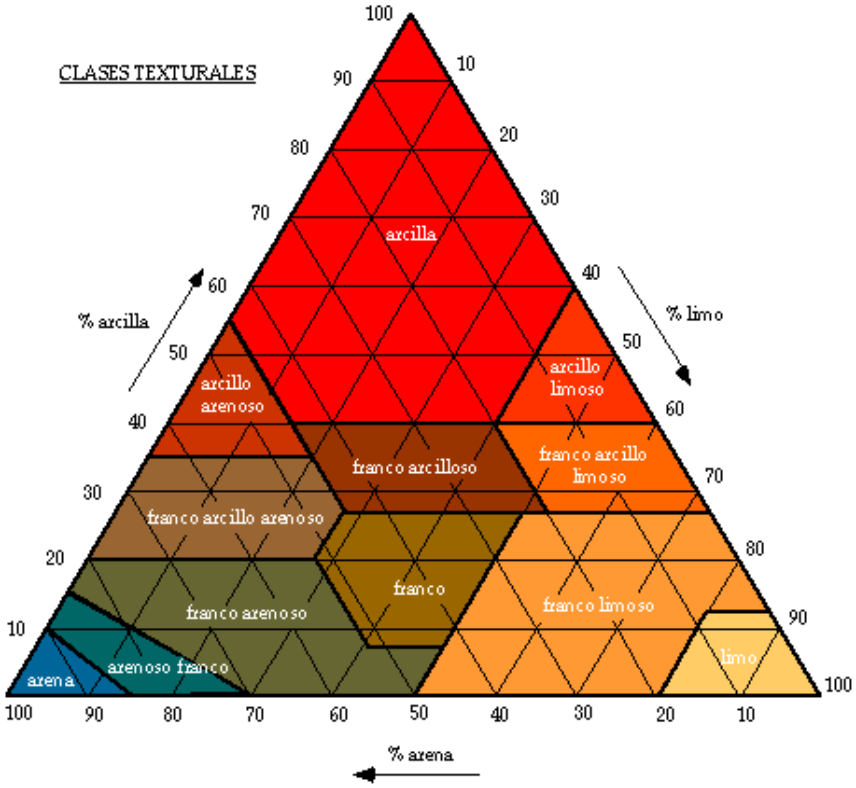


Figura 1. Triángulo de Clases Texturales

(5)http://www.sagan-gea.org/

2.17.1 Características de las fracciones fundamentales

2.17.1.1 Arena

El componente más común de la arena, en tierra continental y en las costas no tropicales, es el sílice, generalmente en forma de cuarzo. Sin embargo, la composición varía de acuerdo a los recursos y condiciones locales de la roca. Según el tipo de roca de la que procede, la arena puede variar mucho en apariencia. Por ejemplo, la arena volcánica es de color negro mientras que la arena de las playas con arrecifes de coral suele ser blanca. La arena es transportada por el viento, también llamada arena eólica, (pudiendo provocar el fenómeno conocido como calima) y el agua, y depositada en forma de playas, dunas, médanos, etc. En el desierto, la arena es el tipo de suelo más abundante. La granulometría de la arena eólica está muy concentrada en torno a 0,2 mm de diámetro de sus partículas (6)

Mela (1963) manifiesta que la arena juega un papel como enmienda de los suelos arcillosos, pues disminuye su compacidad, aunque la gran cantidad que de ella se precisa generalmente para conseguir este fin hace que sólo pueda ser aconsejable, desde el punto de vista económico, cuando el transporte del material resulte a un precio adecuado. Ahora bien, los beneficios que de su adición se consiguen no se limitan al expresado, ya que su acidez contrarresta los pH elevados y constituye una valiosa reserva en el proceso de edafización que continua normalmente, reduciéndose más y más el tamaño de las partículas.

2.17.1.2 Limo

Mela (1963) declara que dominan en su constitución el cuarzo y los feldespatos, si bien aparecen en menor proporción que en las arenas, poseyendo mayor plasticidad que estas, pero considerablemente menor que la de la arcilla, pudiendo decirse otro tanto por lo que a la adsorción se refiere. El tamaño de sus partículas hace que sus textura sea bastante fina, pero el movimiento del agua y del aire resulta, dentro del suelo, mucho menos intenso que en la arcilla. Por ello, deja bastante que desear bajo el punto de vista agrícola, aunque posee considerable poder retentivo en relación con el agua.

2.17.1.3 Arcilla

Mela (1963) revela que ésta fracción confiere al suelo muy importantes características, tanto bajo el punto de vista químico, como en lo que concierne a sus propiedades físicas. Las arcillas poseen una elevada superficie específica, muy importante para ciertos usos

(6)http://es.wikipedia.org/wiki/Aren

industriales en los que la interacción sólido-fluido depende directamente de esta propiedad. A continuación se muestran algunos ejemplos de superficies específicas de arcillas:

1) Caolinita de elevada cristalinidad hasta 15 m2/g,
2) Caolinita de baja cristalinidad hasta 50 m2/g,
3) Halloisita hasta 60 m2/g,
4) Illita hasta 50 m2/g,
5) Montmorillonita 80-300 m2/g,
6) Sepiolita 100-240 m2/g,
7) Paligorskita 100-200 m2/g.

Mela (1963) dice que debido a su estado coloidal, la arcilla absorbe considerable porcentaje de agua, con notable aumento de volumen, desprendiendo el que denominamos calor de expansión, mientras que al secarse recupera su volumen primitivo y las calorías que quedaron libres, apareciendo las grietas producidas por la contracción de la masa arcillosa.

La absorción de agua en el espacio interlaminar tiene como consecuencia la separación de las láminas dando lugar al hinchamiento. Este proceso depende del balance entre la atracción electrostática catión-lámina y la energía de hidratación del catión. A medida que se intercalan capas de agua y la separación entre las láminas aumenta, las fuerzas que predominan son de repulsión electrostática entre láminas, lo que contribuye a que el proceso de hinchamiento pueda llegar a disociar completamente unas láminas de otras. Cuando el catión interlaminar es el sodio, las esmectitas tienen una gran capacidad de hinchamiento, pudiendo llegar a producirse la completa disociación de cristales individuales de esmectita, teniendo como resultado un alto grado de dispersión y un máximo desarrollo de propiedades coloidales. Si por el contrario, tienen Ca o Mg como cationes de cambio su capacidad de hinchamiento será mucho más reducida (7)

Mela (1963) indica que en lo que se refiere al aspecto químico, la arcilla puede asimilarse, en líneas generales, a un ácido insoluble y débil, más o menos contrarrestado por la basicidad de la cal, sodio, magnesio, etc, cuya importancia es muy grande por lo que se refiere al complejo de adsorción, pues son los elementos del intercambio iónico. Sin embargo, la reacción de la arcilla no es siempre ácida ya que puede actuar como una base débil cuando se produce el cambio aniónico.

(7)http://www.uclm.es/users/higueras/yymm/Arcillas.htm

2.18 SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)

Es unsistema computacional orientado a capturar, almacenar, administrar, integrar, manipular, analizar y presentar datos relacionados a elementos dispuestos sobre la superficie de la Tierra y su posición en ella; típicamente, se utiliza para el manejo de mapas, representados dentro del sistema como una o más capas diferentes, cada una de las cuales contiene información geográfica (posición de cada elemento en la Tierra), topológica (relaciones existentes entre los elementos de la capa) y temática (tema que busca representar, contenido) sobre algún aspecto particular (8).

El Sistema de Información Geográfica es un sistema formado por hardware, software y procedimientos diseñados para la captura, manejo, análisis, modelado y muestra de datos georeferenciados para resolver problemas de planeamiento, dirección y conducción (9).

Un sistema de información geográfico (SIG) particulariza un conjunto de procedimientos sobre una base de datos no gráfica o descriptiva de objetos del mundo real que tienen una representación gráfica y que son susceptibles de algún tipo de medición respecto a su tamaño y dimensión relativa a la superficie de la tierra, a parte de la especificación no gráfica el SIG cuenta también con una base de datos gráfica con información georeferenciada o de tipo espacial y de alguna forma ligada a la base de datos descriptiva. La información es considerada geográfica si es mesurable y tiene localización (Figura 2) (9)

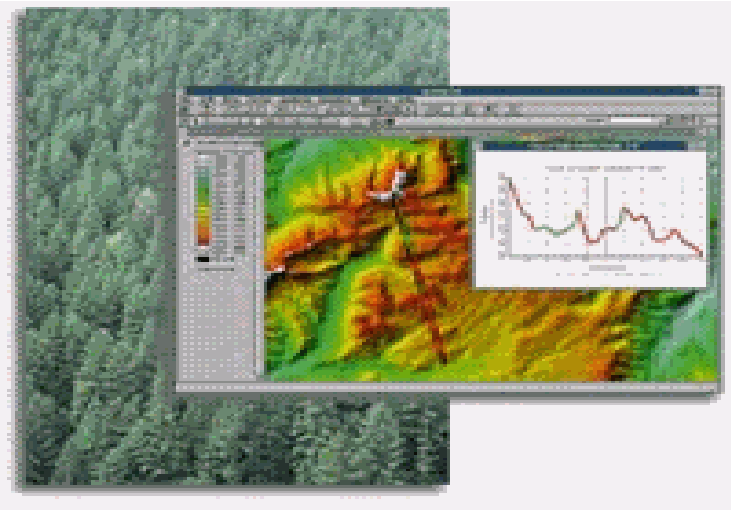


Figura 2. Salida y representación de la información de tipo espacial

(8)www.inbio.ac.cr/ecomapas/glosario10.htm
(9)www.uabc.mx/iis/geo/glosario.htm

2.18.1 Los componentes de un SIG

2.18.1.1 Equipos (Hardware): Es donde opera el SIG. Hoy por hoy, programas de SIG se pueden ejecutar en un amplio rango de equipos, desde servidores hasta computadores personales usados en red o trabajando en modo "desconectado"(10).

2.18.1.2 Programas (Software)*:* Los programas de SIG proveen las funciones y las herramientas necesarias para almacenar, analizar y desplegar la información geográfica. Los principales componentes de los programas son: Herramientas para la entrada y manipulación de la información geográfica; un sistema de manejador de base de datos (DBMS); herramientas que permitan búsquedas geográficas (análisis y visualización); y una Interface gráfica para el usuario (GUI) para acceder fácilmente a las herramientas (10).

2.18.1.3 Datos: Probablemente la parte más importante de un sistema de información geográfico, que integra los datos espaciales con otros recursos de datos y puede incluso utilizar los manejadores de base de datos más comunes para manejar la información geográfica (10)

2.18.1.4 Recurso humano: La tecnología de los SIG está limitada si no se cuenta con el personal que opera, desarrolla y administra el sistema; Y que establece planes para aplicarlo en problemas del mundo real (10).

2.18.1.5 Procedimientos: Un SIG operará acorde con un plan bien diseñado y con unas reglas claras del negocio, que son los modelos y las prácticas operativas características de cada organización (Figura 3) (10)

Figura 3. Componentes de un SIG

(10)www.inbio.ac.cr/ecomapas/glosario10.htm

Las funciones básicas de un sistema de información podemos describir la captura de la información, esta se logra mediante procesos de digitalización, procesamiento de imágenes de satélite, fotografías, videos, procesosaerofotogramétricos, Otra función básica de procesamiento de un SIG hace referencia a la parte del análisis que se puede realizar con los datos gráficos y no gráficos, se puede especificar la función de contigüidad de objetos sobre una área determinada, del mismo modo, se puede especificar la función de coincidencia que se refiere a la superposición de objetos dispuestos sobre un mapa (11).

2.19 ZONIFICACION

La zonificación es la división de superficie en unidades más pequeñas en base a la distribución de suelo, relieve y clima; el nivel de detalle en el que se define una zona depende de la escala del estudio y en ocasiones de la capacidad de los equipos para el procesamiento de los datos (11)

2.20 BASE DE DATOS GEOGRAFICOS

Es una colección de datos acerca de objetos localizados en una determinada área de interés en la superficie de la tierra, organizados en una forma tal que puede servir eficientemente a una o varias aplicaciones, también se refiere a un conjunto de procedimientos que permitan hacer un mantenimiento de ella tanto desde el punto de vista de su documentación como de su administración (12).

2.20.1 ATRIBUTOS O DATOS GRAFICOS Y NO GRAFICOS

Los atributos no gráficos son guardados en tablas y manipulados por medio de un sistema manejador de bases de datos como tema de información (puntos, líneas y polígonos); los atributos gráficos son guardados en archivos y manejados por software de un sistema SIG (12).

Los atributos gráficos son las representaciones de los objetos geográficos asociados con ubicaciones específicas en el mundo real, la representación de los objetos se hace por medio de puntos, líneas o áreas; ejemplo de una red de servicios (Punto: un poste de energía; línea: una tubería y Área: un embalse). Los atributos no gráficos también llamados atributos alfanuméricos, corresponden a las descripciones, cualificaciones o características que nombran y determinan los objetos o elementos geográficos (Figura 4) (13).

(11)www.inbio.ac.cr/ecomapas/glosario10.htm
(12)http://www.fao.org/docrep/w29625/w2962s04.htm#celdasyzonas
(13)http://www.monografías.com/trabajos/gis/gis.shtml

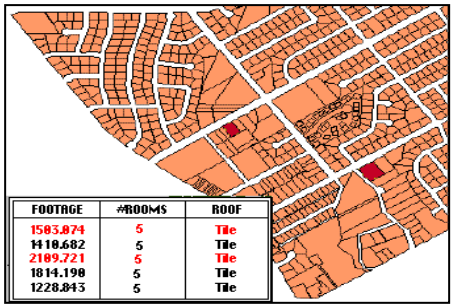


Figura 4. Atributos gráficos y no gráficos asociados

2.21 UNIDAD CARTOGRAFICA DE CULTIVOS

Los sistemas de seguimiento de la producción agrícola existen en todos los países, a diversos niveles de desarrollo, por lo cual muchos de ellos necesitan mejoras para poder cumplir con su función, tanto en la obtención como en el tratamiento de datos. Conviene observar que el seguimiento de la producción agrícola debería tener en cuenta todos los productos alimentarios básicos: cultivos alimentarios, y productos pecuarios o pesqueros. En la práctica se ve que sólo los productos alimentarios se benefician con un seguimiento lo que se explica por motivos tanto de comodidad como de intereses comerciales (14).

2.22 UNIDAD CARTOGRAFICA DE SUELOS

La unidad cartográfica de suelos es la unidad básica de un mapa de suelos; en mapas de pequeña escala, las unidades cartográficas de suelos raramente comprenden suelos individuales, puesto que normalmente consisten en una combinación de un suelo dominante con suelos asociados. Cuando varios suelos de una unidad cartográfica se presentan en proporciones definidas en un determinado modelo geográfico, constituyen una asociación de suelos; si tal modelo no existe, forman un suelo complejo (Figura 5) (15).

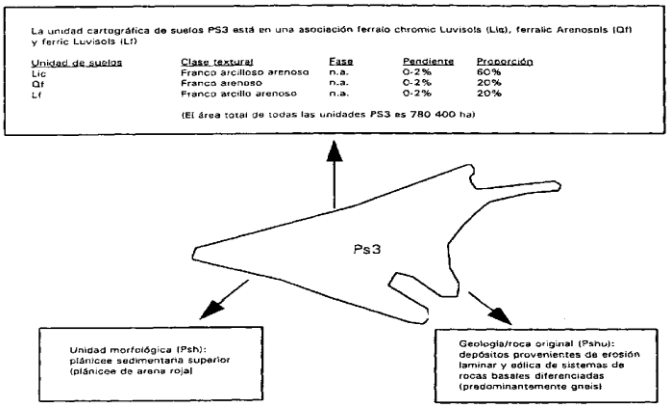


Figura 5. Unidad cartográfica de suelos.

(15)http://www.fao.org/documets/show_cdr.asp.html

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 MATERIALES

3.1.1 ÁREA EN ESTUDIO

El área en cuestión es el cantón Chilla ubicado en la provincia de El Oro, región siete, Ecuador. Tiene una superficie de 323.56 km^2, que en relación con la provincia vendría a representar el 5,58 % de la extensión total, los límites son: al norte con el Cantón Pasaje; al sur con los Cantones Atahualpa y Zaruma; al este con el Cantón Zaruma y al oeste con los Cantones Pasaje y Atahualpa. (figura 6).

Figura 6. Mapa del Ecuador en el que se ubica al cantón Chilla y la provincia de El Oro

3.1.2 COORDENADAS GEOGRÁFICAS

El cantón Chilla tiene las siguientes coordenadas geográficas: Latitud Sur 3°30’ a 3º20’; y Longitud Oeste 79°45'00” a 79º30`, las coordenadas planas en el sistema SAM-56 con las

unidades UTM que va desde 9630000 -9610000 a 640000 - 660000, y una altitud que va de 200 a 3553 msnm.

La formación ecológica corresponde a cuatro zonas de vida: bosque húmedo templado (bh-T), bosque húmedo subtropical (bh-sT), bosque muy húmedo templado (b-mh-T), y bosque muy húmedo subtropical (b-mh-sT), según Holdridge, con una temperatura que fluctúa entre 8 y 20 ^{o} C, y una precipitación que va de 124 a 925 mm promedio anual.

3.1.3 MATERIALES UTILIZADOS

3.1.3.1 Materiales de laboratorio

El muestreo de suelo fue realizado por la entonces tesista Ana Jaya Sedamos para obtener el grado de Ingeniero Agrónomo, por lo que cabe recalcar que esta investigación está basada en sus muestras que reposan en el almacén del Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Machala.

3.1.4 FACTORES EN ESTUDIO

Los factores a estudiarse fueron: textura, materia orgánica y carbono orgánico en %. Capacidad de intercambio catiónico en meq/100 g. Na^{+}, Ca^{++}, Mg^{++} y K^{++} en me/100g. N, P, K, Fe, Cu, Zn, Mn en ug/ml.

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, Ca, Mg y complementariamente Fe, Cu, Zn, Mn”

3.2.1.1Protocolo de Bouyoucus, para determinar el Análisis Mecánico

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.

Agregar 5 ml de oxalato de sodio saturado y 5 ml de hidróxido de sodio 1 normal y agitar con una varilla de vidrio.

3. Instalar el vaso en la dispersadora durante 5 minutos.

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

5. 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.

6. 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.

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

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

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

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

11. 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:

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

$$\%\ \text{de Arcilla} = \frac{\text{B}}{\text{P}}\text{x}\ 100$$

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

Dónde: P es el peso de la muestra.

3.2.1.2Protocolo de Walkley Black, para determinar Materia Orgánica

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:

$$\%C = (\text{gasto del dicromato} - \text{gasto del sulfato}) \text{ x } 0{,}4 = \%C \text{ x } 1{,}724$$

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

3.2.1.3Protocolo de Chapman, para determinar la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)

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

2. Lavar el suelo con 100 ml de agua destilada.

3. Agregar 25 ml de acetato de amonio OAcNH4 1 normal pH 7,0.

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

5. 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^{+} cambiables.

6. 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.
7. Lavar el suelo con solución de cloruro de sodio al 10%, agregando porciones de 10 ml durante 5 veces.
8. Agregar al filtrado de cloruro de sodio 10 ml de formol al 40% neutralizado.
9. Titular el contenido con NaOH 0,1 normal, usando como indicador fenolftaleína al 1,0 %.
10. Hacer un blanco con agua destilada, cloruro de sodio y formol.

CIC= gasto NaOH 0,1 normal x 2

CIC= me/100g de suelo

3.2.1.4 Protocolo del espectrofotómetro de absorción atómica, para determinarlas lecturas de N, P, K, Mn, Fe, Cu y Zn

1. Medir 2,5 ml de suelo y luego agregar 25 ml de la solución extractante de acetato de amonio 1 normal.
2. Agitar durante 10 minutos y luego filtrar.
3. Tomar 1 ml de alícuota del filtrado y luego agregar 9 ml de agua destilada.
4. Añadir 15 ml de óxido de Lantano al 1%.
5. 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.
6. Realizar las lecturas en el espectrofotómetro de absorción atómica.

3.2.1.5 Protocolo del Espectrofotómetro de Absorción Atómica para determinar las lecturas de Ca, K, Na y Mg cambiables

1. Medir 2,5 ml de suelo y agregar 25 ml de solución de cloruro de potasio 1 normal luego agitar 10 minutos y filtrar.
2. Tomar una alícuota de 1 ml del filtrado y enseguida agregar 9 ml de agua destilada.

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

4. 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.

5. Realizar las lecturas en el espectrofotómetro de absorción atómica.

6. 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 Cl_2Ca 2 H_2O y 41,80 g de Cl_2Mg 6 H_2O y disolver por separado en la solución extractora de 1 normal de ClK hasta el volumen de 1000 ml.

7. 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.

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

Cuadro 1. 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
P_2O_5	ug/ml	<10,00	10,00- 20,00	20,00- 30,00	30,00- 40,00	>40,00
K_2O	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

Cuadro 2. Puntaje y apreciación de la fertilidad de suelos

pH	Determinación	4,0 - 5,0	5,0 - 5,5	5,5 - 6,5	6,5 - 7,5	> 7,5
	Apreciación	Muy ácido	ácido	Lig. Ácido	Casi neutro	Alcalino
	Puntuación	-5 a 1	1 a 5	5 a 15	15	15 a -5
CIC (meq/100g)	Determinación	0 - 5	5 - 10	10 - 20	20 - 30	> 30
	Apreciación	Muy Baja	Baja	Mediada	Alta	Muy Alta
	Puntuación	-5 a 1	1 a 5	5 a 10	10 a 20	20
Bases Totales (meq/100g)	Determinación	0 - 1	1 - 5	5 - 10	10 - 30	> 30
	Apreciación	Muy Pobre	Pobre	Regular	Alta	Muy Alta
	Puntuación	-5 a 1	1 a 5	5 a 10	10 a 20	20
Saturación de Bases (%)	Determinación	0 - 5	5 - 10	10 - 30	30 - 60	> 60
	Apreciación	Muy Baja	Baja	Mediana	Alta	Muy Alta
	Puntuación	-5 a 1	1 a 5	5 a 10	10 a 20	20
Carbono Orgánico (%)	Determinación	0 - 10	1 - 1,5	1,5 - 2,5	2,5 - 4,0	> 4,0
	Apreciación	Muy Pobre	Pobre	Normal	Alto	Muy Alto
	Puntuación	-3 a 1	1 a 3	3 a 5	5	5
Nitrógeno Total (%)	Determinación	0 - 0,10	0,10 - 0,15	0,15 - 0,25	0,25 - 0,3	> 0,30
	Apreciación	Muy Pobre	Pobre	Normal	Alto	Muy Alto
	Puntuación	-5 a 1	1 a 5	5 a 15	15	15
Fósforo (ppm)	Determinación	0 - 7,6	7,6 - 15,1	15,1 - 31,1	31,1	> 31,1
	Apreciación	Muy Pobre	Pobre	Normal	Alto	Muy Alto
	Puntuación	-5 a 1	1 a 5	5 a 15	15	15
FERTILIDAD	PUNTAJE Suma Puntos / 10	-5 a 1	3 a 5	6 a 8	9 a 10	> 10
	Apreciación	Muy Baja	Baja	Moderada	Mod. Alta	Alta

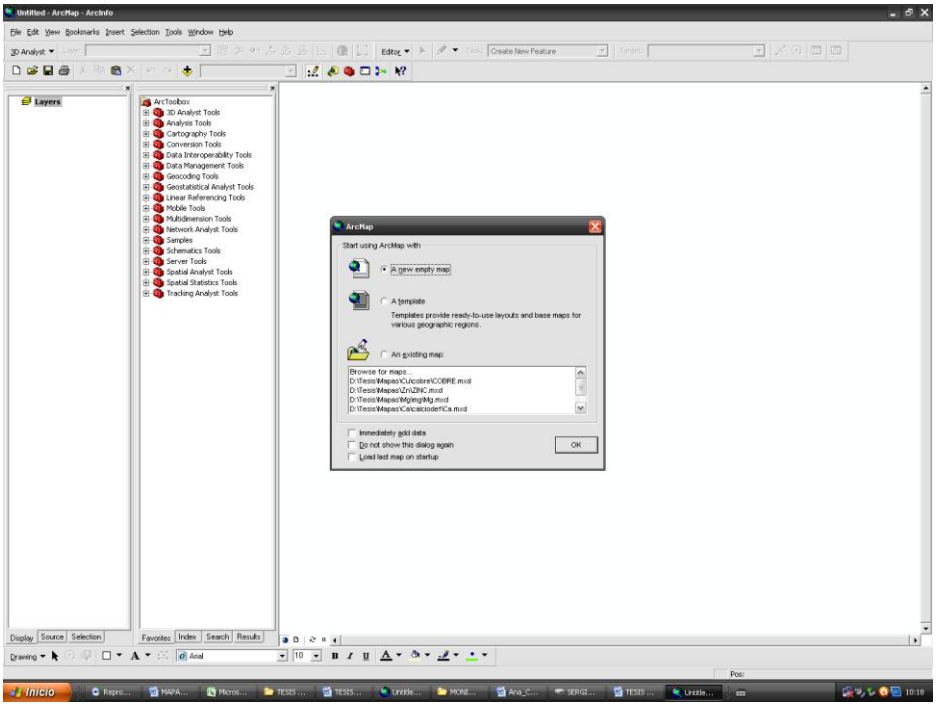
FUENTE: Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Bogotá Colombia, 1979

3.2.3 METODOLOGÍA PARA EL SEGUNDO OBJETIVO

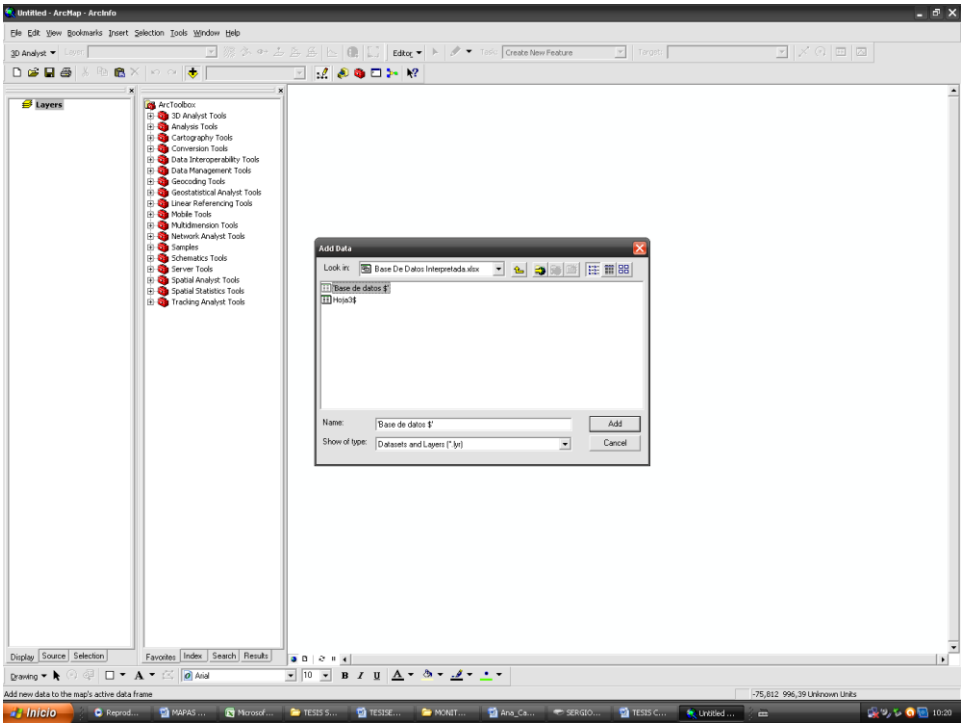
"Elaborar los mapas de textura, fertilidad, pH, materia orgánica, conductividad eléctrica, capacidad de intercambio catiónico y bases cambiables del Cantón Machala**".**

La elaboración de los mapas de textura, capacidad de intercambio catiónico, conductividad eléctrica, fertilidad, pH, 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, cuidando que al guardar el archivo se haga en formato compatible 97-2003 el cual es detectable en el programa pues los posteriores no los lee.

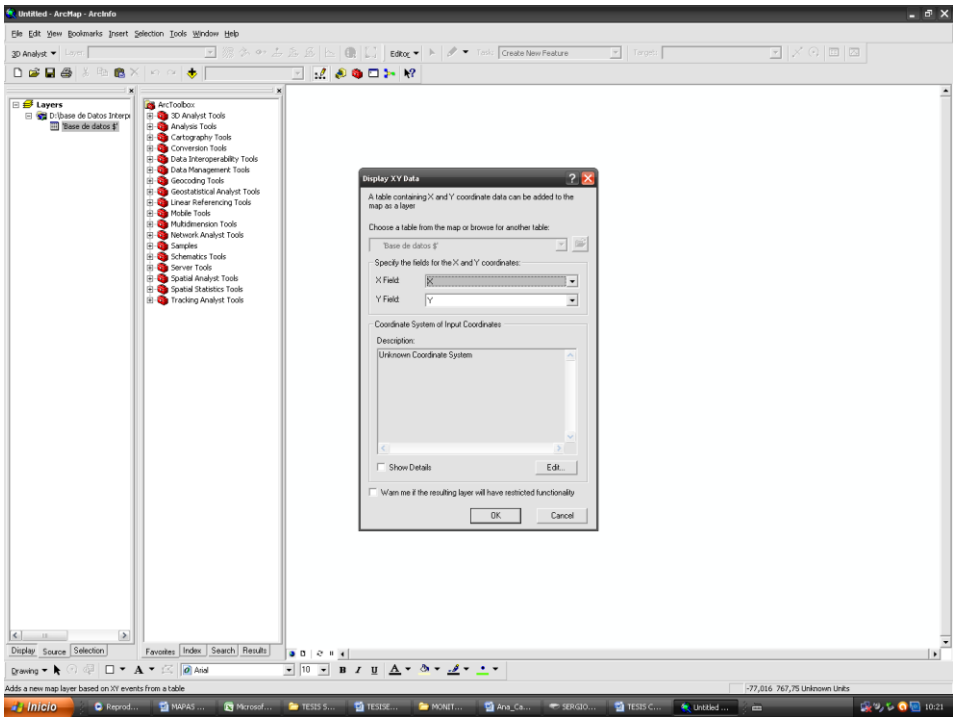
Abrir el programa y seleccionamos un archivo en blanco



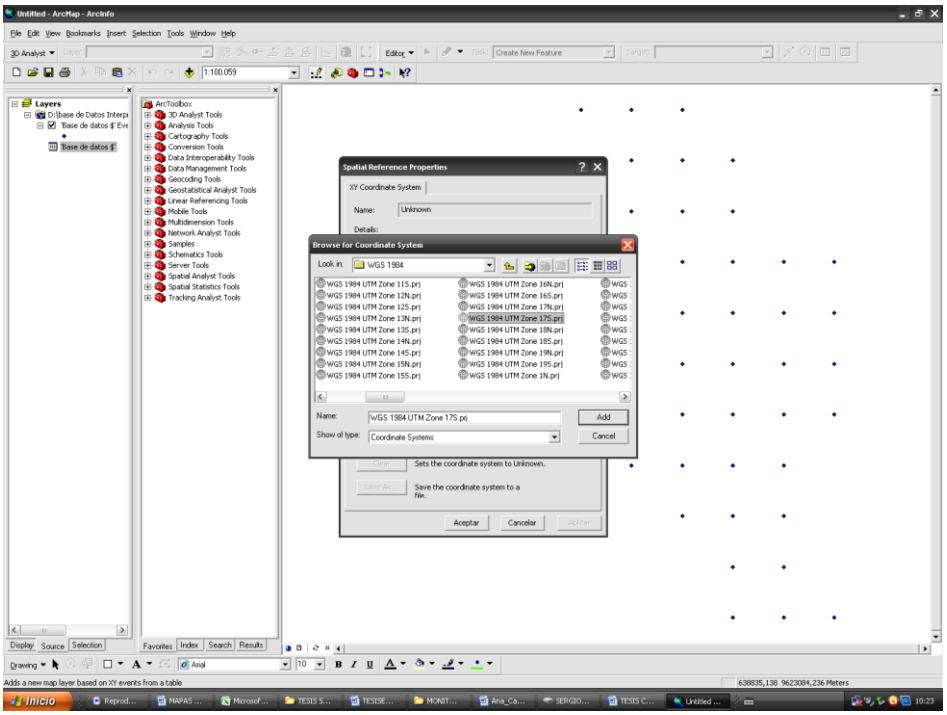
Luego se selecciona el botón agregar y ubicar el archivo donde están las coordenadas en la base de datos de Excel y dar clic en abrir, dentro de este ubicar la hoja dentro del archivo donde están escritos, y luego elegir agregar con el botón “add” y ya están los puntos en el programa.



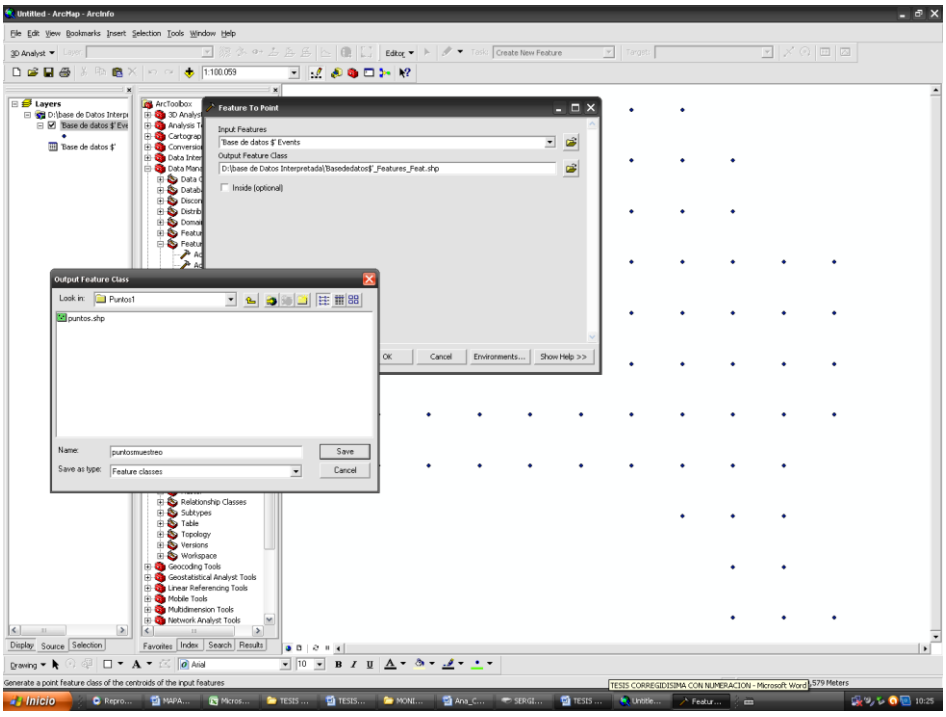
Luego hacer clic derecho en la capa recién creada y seleccionar “display data x y” y en la ventana proceder a ubicar las coordenada X y Y dependiendo en que columnas están en el archivo de Excel.



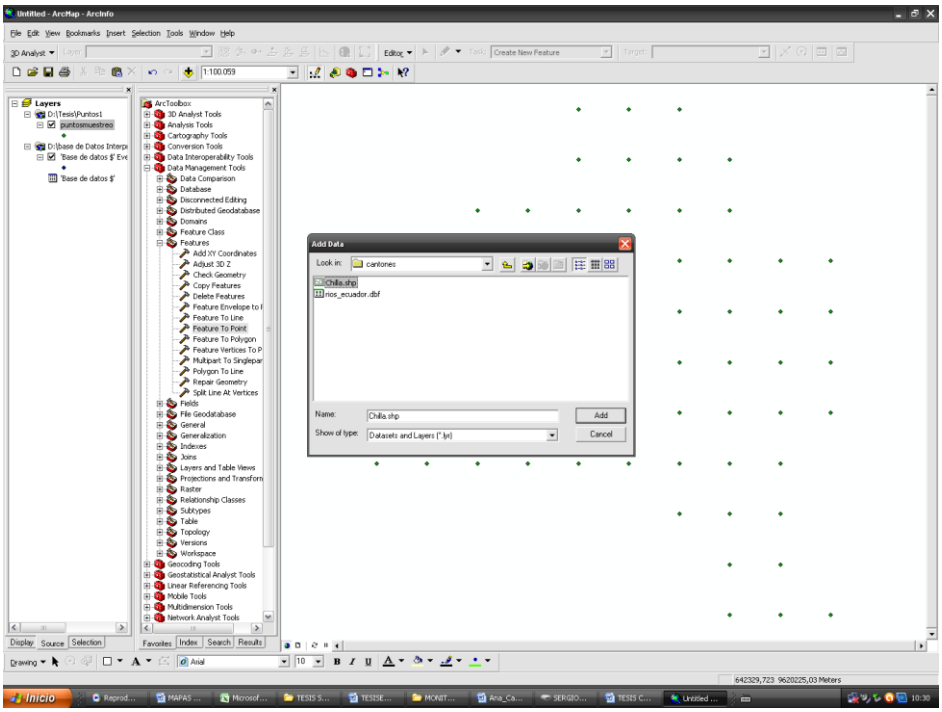
Luego seleccionar edit en el espacio donde van el sistema de coordenadas, en el que está ubicado el archivo, y en el menú elegir “select” en la ventana seleccionar “projectedcoordenadesystem” seleccionar “UTM” luego “WGS 1984” y ahí seleccionar la zona “17 sur” y presionar add.



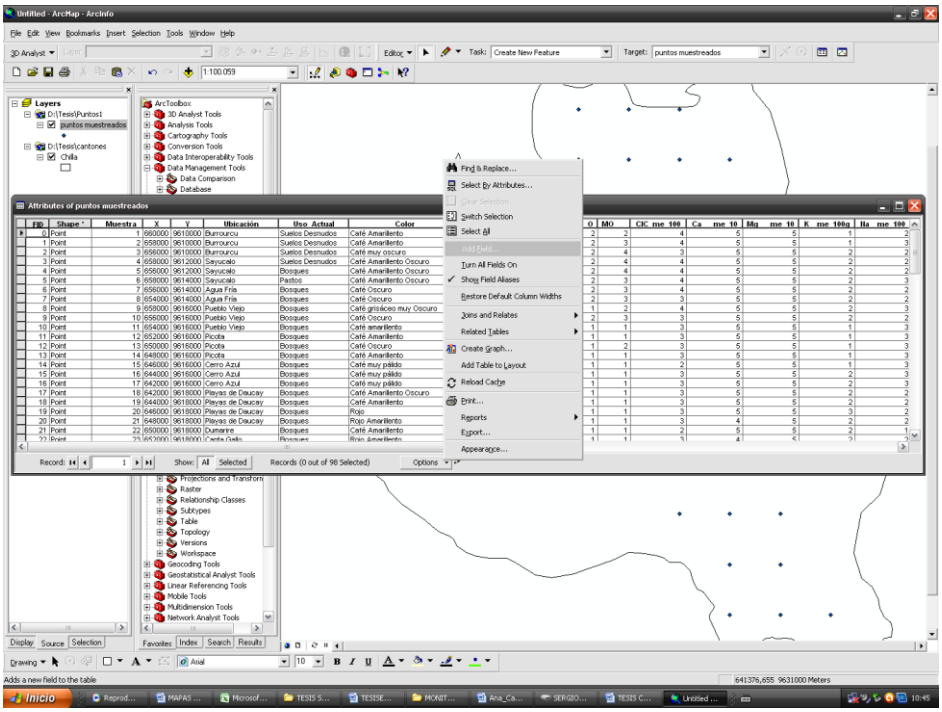
Luego ubicar el botón “ArcTool box window” y ubicar ahí la opción “featuretopoint” en la ventana de comandos y seleccionar en “input features” el arhivo en desarrollo y en “output feature” la carpeta donde se desea ubicar el archivo y se le da nombre, puede ser puntos de muestreo, elegir “save”, “ok”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



Luego cargar el shape del cantón en estudio (cantón Chilla).

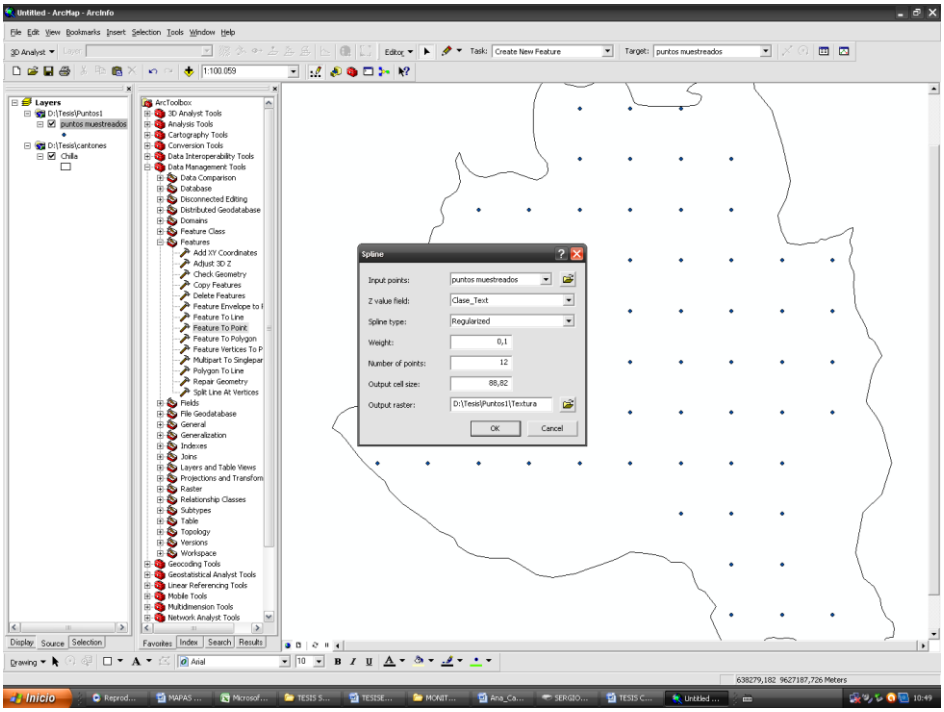


Luego ir a la capa puntos para hacer clic derecho y abrir la tabla de atributos, a continuación iniciar el editor con el botón “Editor” y en el menú colgante seleccionar “startediting”, en ella seleccionar “options” y ahí “addfield” el cual se va a convertir en el mapa que se va a crear.

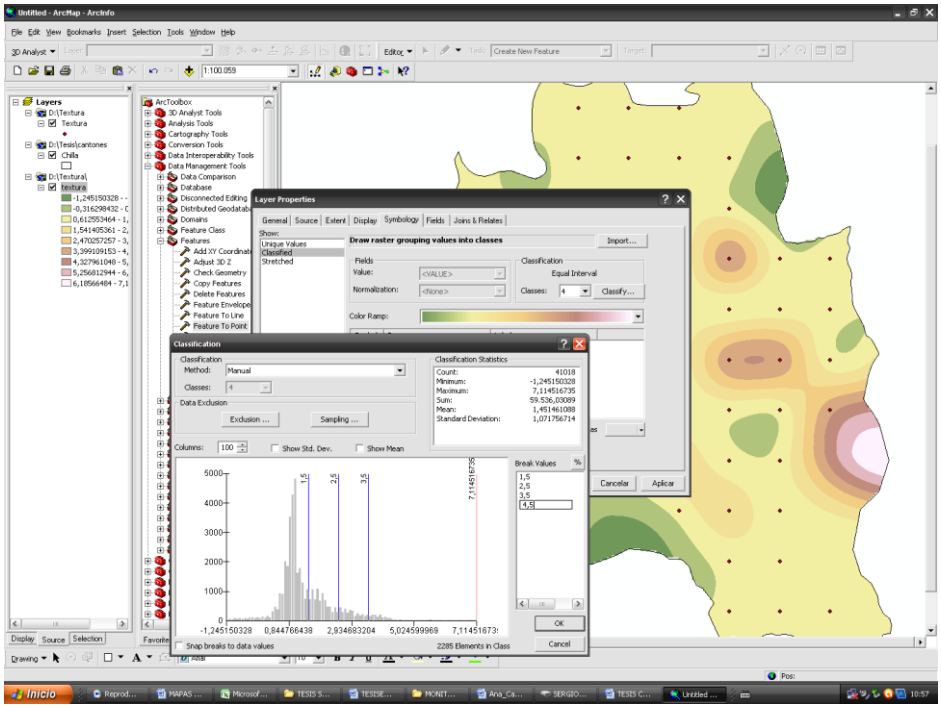


Copiar directamente los datos desde la hoja de Excel al campo añadido, estos ya deben estar tabulados y refiriéndose a lo que queremos representar en el mapa. Luego seleccionar la barra de tares “3d analist” y en el menú colgante elegir “options”, a continuación presionar la pestaña “extent”, en la barra “analistextent” seleccionar “same as layerChilla” y en la pestaña “general” donde dice “analistmask” poner “Chilla” y luego aceptar, esto es para que los datos no se extrapolen sino que se interpolen solo en la forma del shapeChilla.

Abrir el “3d analist” de nuevo y en la opción “interpólate toraster” seleccionar “apline” y en el menú posterior en la opción “z valuefield” elegir el campo que hemos agregado en la tabla, en la barra “output sizecell” ponemos un numero pequeño como 20 o 15 y en “output raster” hacer clic en la carpeta y seleccionar la ubicación y el nombre de la capa y luego el botón ok.



Ahora en la capa recién creada Textura hacer clic derecho y seleccionar propiedades. Luego en la ventana el botón “clasiffi” y en el elegir el numero 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.



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 3 y figuras 7 y 8 las diferentes texturas que existen en los suelos del cantón Chilla

Los suelos arenosos son provenientes de la agrupación de dos o más minerales, e influyen en la acidez de los mismos según Mela (1963), ante estos se justifica la clase textural de los suelos del cantón Chilla que es Franco Arenoso en un 78.79% de la superficie total, también tiene texturas Franca, Franco Limoso y Arenoso Franco en niveles menores.

Cuadro 3. Superficie de distribución y representación en porcentajes de las clases texturales del cantón Chilla, 2013

Interpretación	Distribución (km^2)	Área represent. (%)
Franco Arenoso	254.93	78,79
Franco	19.61	6,06
Franco Limoso	9.80	3,03
Arenoso Franco	39.22	12,12
Total	323.56	100

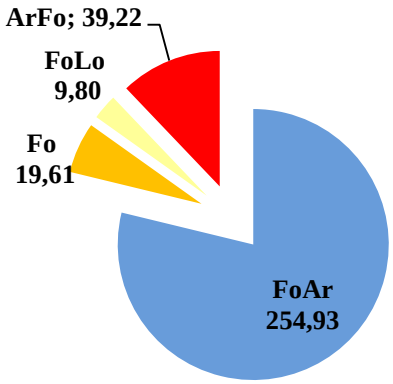


Figura 7. Distribución gráfica en km^2 de las clases texturales en el cantón Chilla, 2013

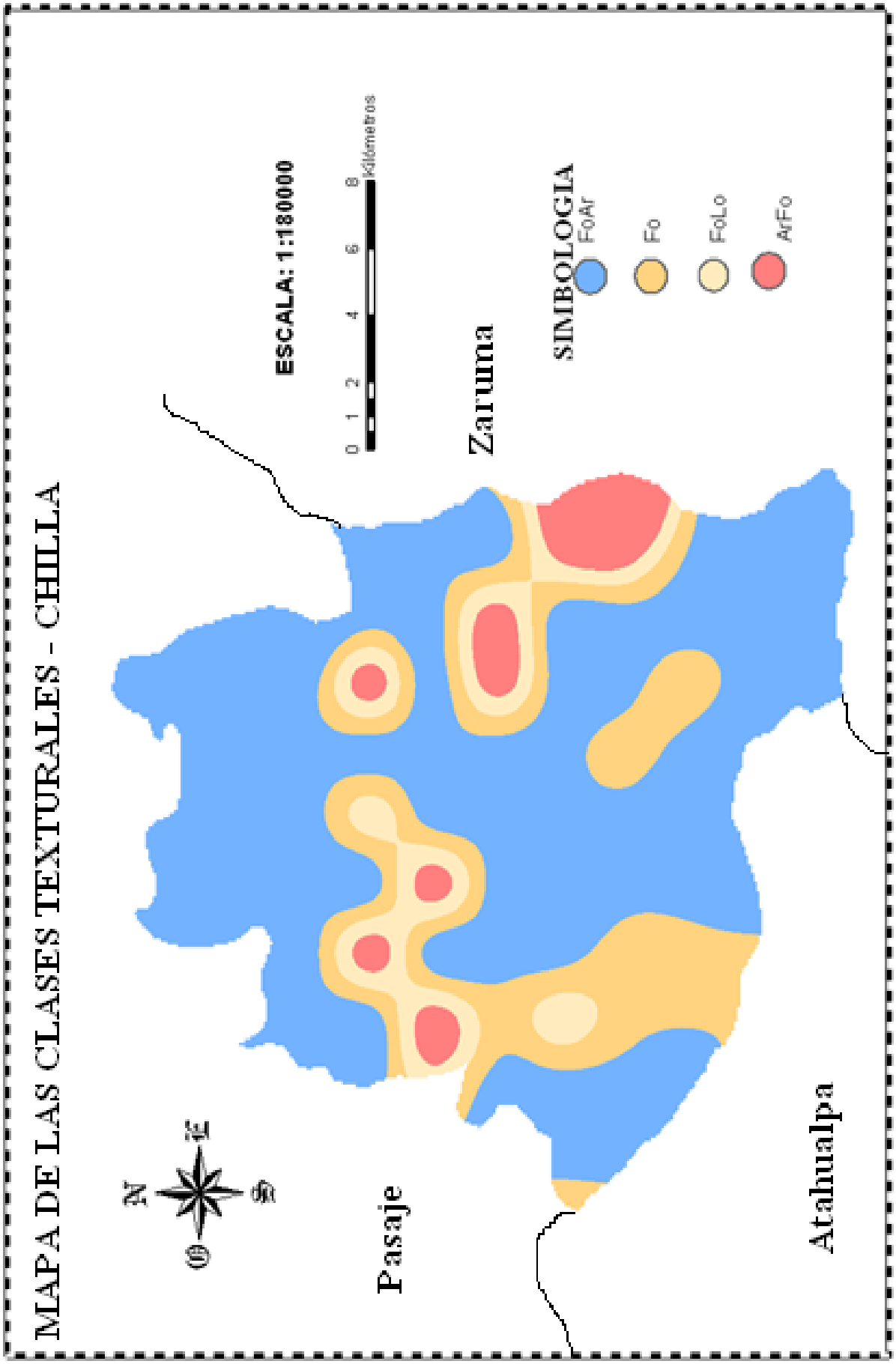


Figura 8. Mapa de las clases texturales y su distribución en el cantón Chilla. 2013

4.1.2 MAPA DE LOS NIVELES DE LA MATERIA ORGÁNICA

Se observa en el cuadro 4 y figuras 9 y 10 los diferentes niveles en que se presenta la materia orgánica en los suelos del cantón Chilla.

Los niveles de Materia Orgánica son irregulares en el cantón, con valores que fluctúan entre Muy Bajos y Altos; existe una dominancia del nivel Muy Bajo con un 69.70% de la superficie total del cantón, Buckman y Brady (1987) manifiestan que la MO representa una acumulación de las plantas parcialmente destruidas y parcialmente sintetizadas y de los residuos animales que están degradación continua por parte de los microorganismo y más en ambientes húmedos. La mayoría de los suelos de chilla están dedicados a pasto o son suelos desnudos esto limita la cantidad de residuos vegetales para ser descompuestos, complementario a esto, son las bajas temperaturas durante todo el año.

Cuadro 4. Superficie de distribución y representación en porcentajes de la materia orgánica del cantón Chilla, 2013

Rangos (%)	Interpretación	Distribución (km^2)	Área represent. (%)
<2.0	Muy bajo	225,51	69,70
2.0 – 4.0	Bajo	49,02	15,15
4.1 – 6.0	Medio	34,32	10,61
6.1 – 8.0	Alto	14,71	4,55
	Total	323,564	100,00

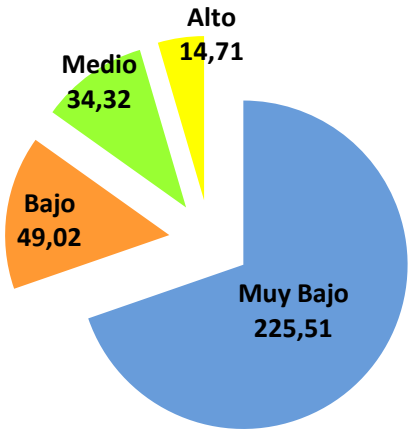


Figura 9. Distribución gráfica en km^2 de la materia orgánica en el cantón Chilla, 2013

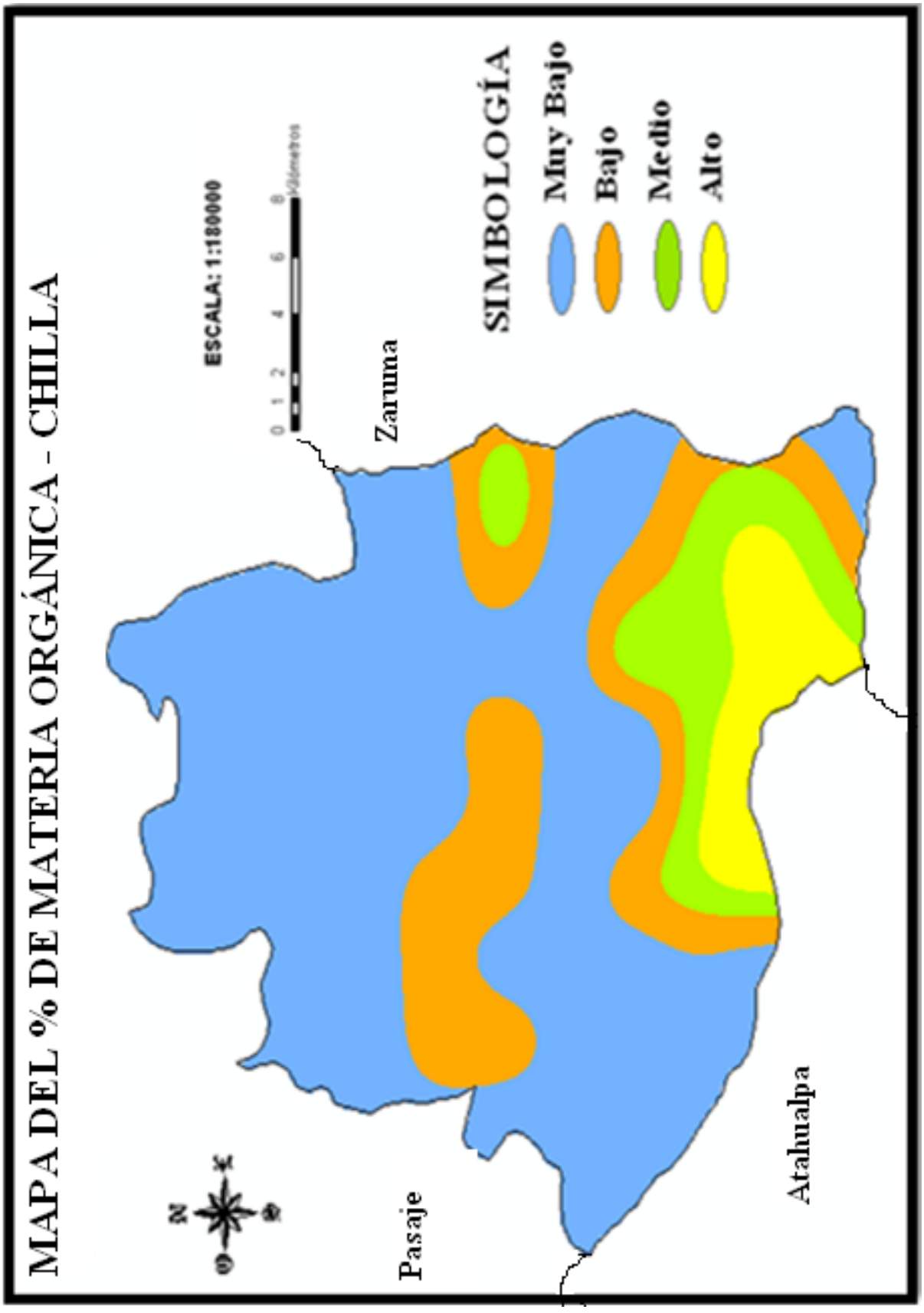


Figura 10. Mapa de los niveles de la materia orgánica y su distribución en el cantón Chilla. 2013

4.1.3 MAPA DE LOS NIVELES DE CARBONO ORGÁNICO

Se observa en el cuadro 5 y figuras 11 y 12 los diferentes niveles en que se presenta el carbono orgánico en los suelos del cantón Chilla.

Para Milthorpe y Moorby (1976) los niveles de Carbono Orgánico estáníntimamente relacionados con el contenido de Materia Orgánica del suelo. Por consiguiente, como los niveles de M.O. son muy bajos, también los niveles de C.O. se encuentra en Muy Bajo con un 80.30% y Bajo con un 19.70 %. Esto también puede ser causa de las bajas temperaturas existentes en el cantón, lo cual reduce considerablemente la descomposición del material vegetal y la acción de los microorganismos de descomposición.

Cuadro 5.Superficie de distribución y representación en porcentajes de Carbón Orgánico del cantón Chilla, 2013

Rangos(%)	Interpretación	Distribución (km^2)	Área represent. (%)
<1,16	Muy bajo	259,83	80,30
1,16- 2,32	Bajo	63,73	19,70
	Total	323,56	100,00

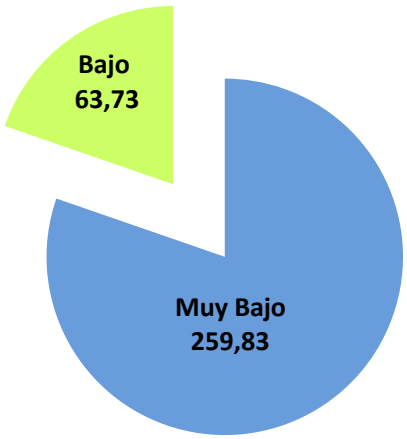


Figura 11. Distribución gráfica en km^2 del carbono orgánico en el cantón Chilla, 2013

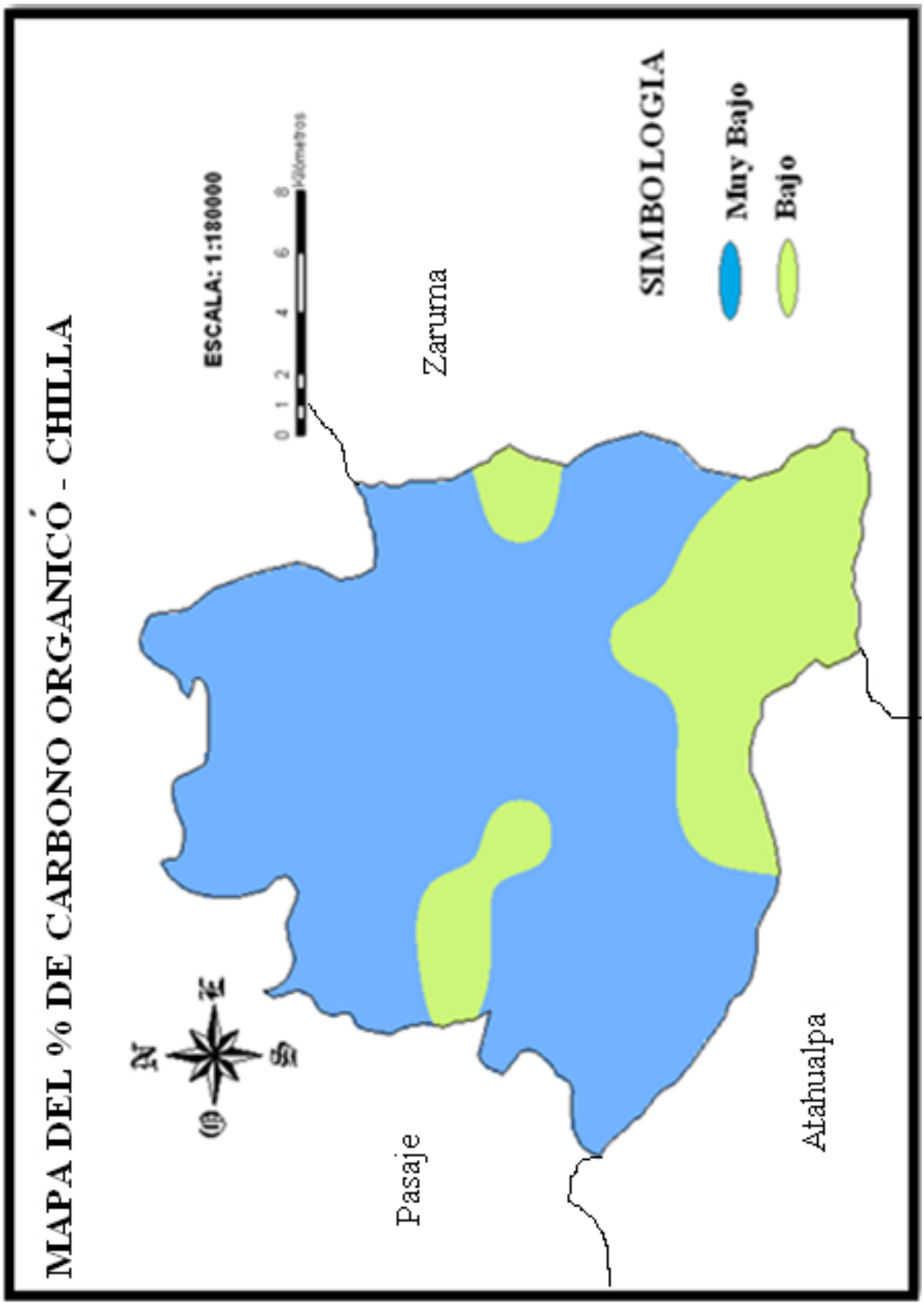


Figura 12. Mapa del porcentaje de carbono orgánico y su distribución en el cantón Chilla. 2013

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

Se observa en el cuadro 6 y figuras 13 y 14 los diferentes niveles en que se presenta la CIC en los suelos del cantón Chilla.

La Capacidad de Intercambio Catiónico tiene una distribución regular en el cantón desde Muy Baja a Alta, con una leve tendencia al nivel Bajo.INPOFOS (1997) afirma que la C.I.C. depende de la cantidad y tipo de arcilla y del contenido de materia orgánica en el suelo, si un suelo tiene mayor cantidad de arcillas tendrá más cationes intercambiables, lo contrario sucederá si tiene baja cantidad de arcillas. Los suelos del cantón Chilla son Franco Arenosos y tienen muy bajo porcentaje de M.O. razón por la cual tiene estos niveles de C.I.C.

Cuadro 6. Superficie de distribución y representación en porcentajes de la CIC del cantón Chilla, 2013

Rangos (me/100g)	Interpretación	Distribución (km^2)	Área represent. (%)
< 9.0	Muy Bajo	58,83	18,18
9.0 – 18.0	Bajo	127,46	39,39
18.1 – 27.0	Medio	93,15	28,79
27.1 – 36.0	Alto	44,12	13,64
	Total	323,56	100,00

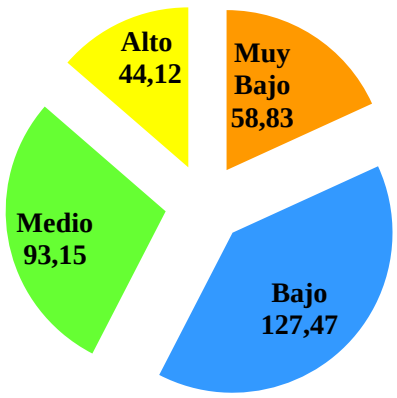


Figura 13. Distribución gráfica en km^2 de la CIC en el cantón Chilla, 2013

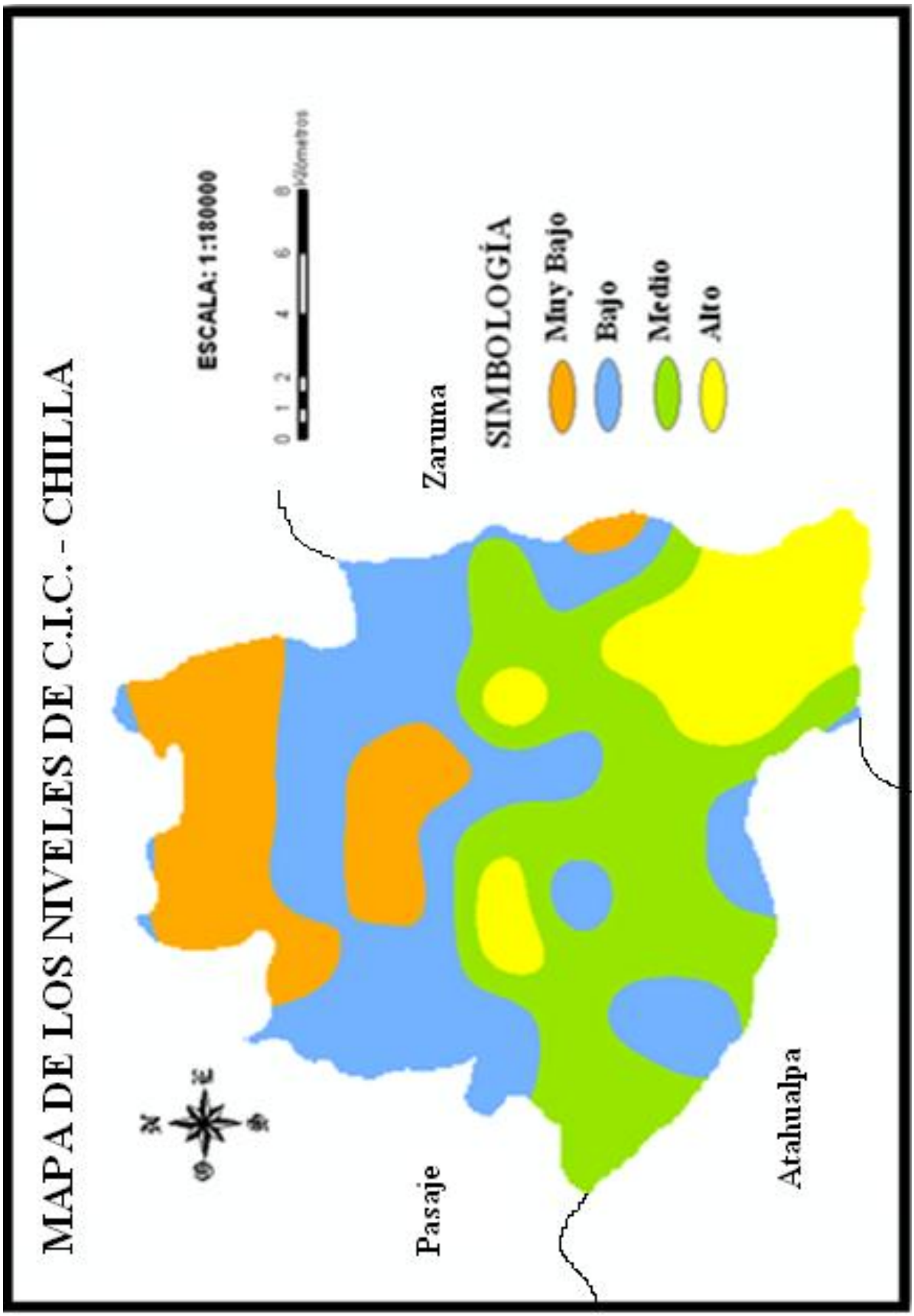


Figura 14. Mapa de los niveles de la CIC del cantón Chilla. 2013

4.1.5 MAPA DE LOS NIVELES DE pH

Se observa en el cuadro 7 y figuras 15 y 16 los diferentes niveles de pH en los suelos del cantón Chilla.

De la superficie total del cantón Chilla, el 95.46 % tiene un nivel de pH Muy Acido, lo cual se puede atribuir a las constantes lluvias en la zona que lavan las bases y acumulan H^{+}y Al^{+++}que provocan la acidez de los suelos lo que incide en la disponibilidad de los nutrientes del suelo a los cultivos, considerando que su mejor aprovechamiento de los mismos se da cuando su pH oscila entre 6,0 y 7,0 según lo afirma Fuentes (1989).

Cuadro 7. Superficie de distribución y representación en porcentajes del pH del cantón Chilla, 2013

Rangos	Clasificación	Distribución (km^2)	Área represent. (%)
< 4.0	Extremadamente Ácido	9,80	3,03
4.0 – 5.2	Muy Ácido	308,86	95,46
5.3 – 6.5	Ácido	4,90	1,52
	Total	323.56	100.00

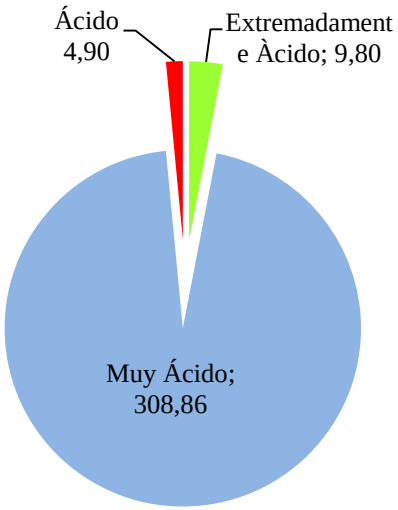


Figura 15. Distribución gráfica en km^2 del pH en el cantón Chilla, 2013

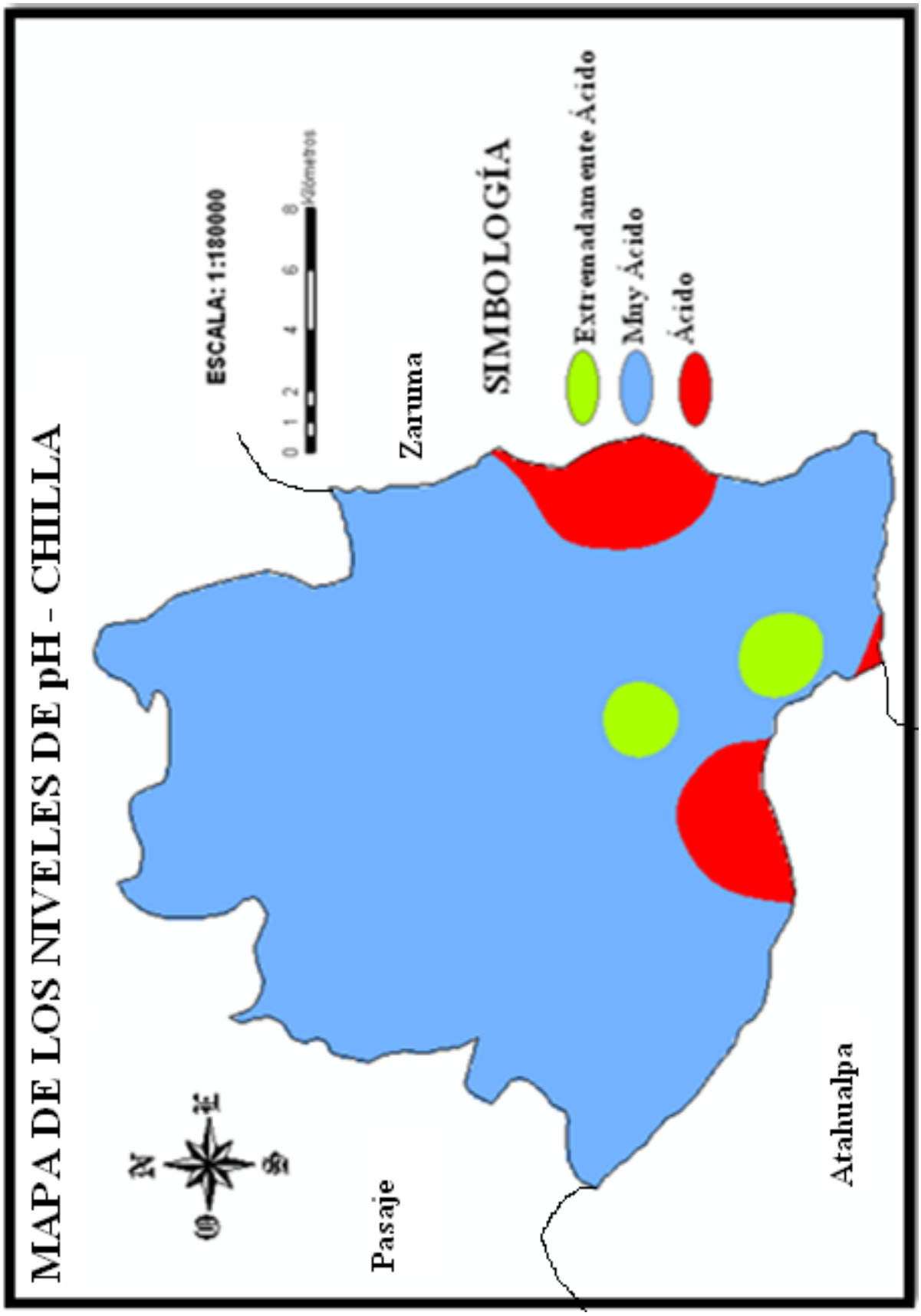


Figura 16. Mapa de los niveles de pH del cantón Chilla. 2013

4.1.6 MAPA DE LOS NIVELES DE NITRÓGENO

Se observa en el cuadro 8 y figuras 17 y 18 los diferentes niveles de nitrógeno en los suelos del cantón Chilla.

Las concentraciones Muy Bajo y Bajo de nitrógeno en más del 92% de la superficie del cantón, se da debido a que este elemento predomina en los suelos cálidos, bien aireados y húmedos con bajos índices de acidez como lo manifiesta Iñiguez (2007), condiciones que no son las del cantón puesto que tenemos temperaturasbajas (en la mayor parte del cantón las temperaturas oscilan entre 8 a 12 ºC) y altos índices de acidez.

Cuadro 8. Superficie de distribución y representación en porcentajes de los niveles de nitrógeno en el cantón Chilla, 2013

Rangos (ug/ml)	Interpretación	Distribución (km^2)	Área represent. (%)
<20	Muy bajo	205,90	63,64
20-40	Bajo	93,15	28,79
40-60	Medio	24,51	7,58
	Total	323.56	100,00

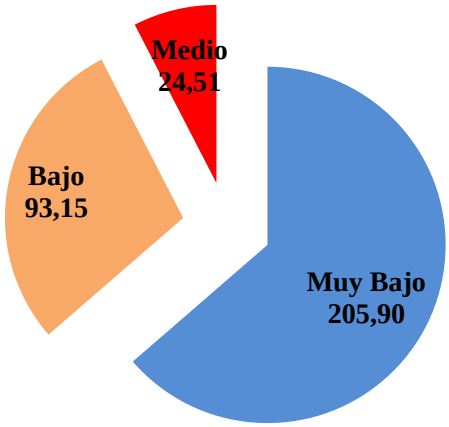


Figura 17. Distribución gráfica en km^2 de los niveles de nitrógeno en el cantón Chilla, 2013

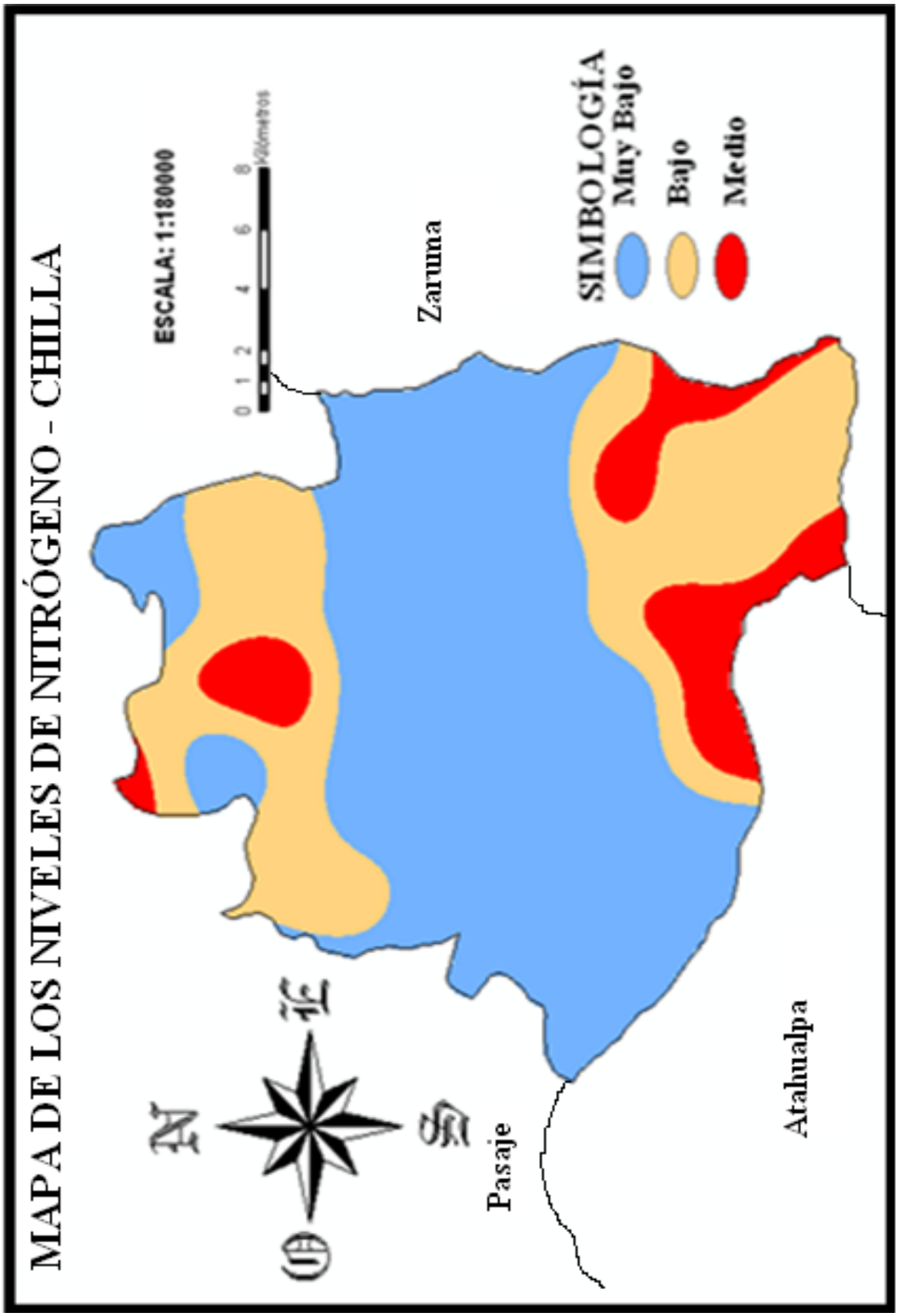


Figura 18. Mapa de los niveles de nitrógeno y su distribución en el cantón Chilla. 2013

4.1.7 MAPA DE LOS NIVELES DE FÓSFORO

Se observa en el cuadro 9 y figuras 19 y 20 los diferentes niveles de fósforo en los suelos del cantón Chilla.

La presencia de fósforo en el cantón vas desde el nivel Muy Bajo hasta el nivel Muy Alto, en las zonas donde los niveles son menores se debe a la escasa presencia de materia orgánica que es uno de los orígenes de este elemento, como lo indica INPOFOS (1997). Las zonas donde la presencia de fósforo es mayor puede ser por la existencia de minerales que lo contienen como la apatita y también los sedimentos de algunas rocas fosfatadas.

Cuadro 9. Superficie de distribución y representación en porcentajes de los niveles de fósforo en el cantón Chilla, 2013

Rangos (ug/ml)	Interpretación	Distribución (km^2)	Área represent. (%)
<10,00	Muy bajo	19,61	6,06
10,00- 20,00	Bajo	147,07	45,45
20,00- 30,00	Medio	88,24	27,27
30,00- 40,00	Alto	19,61	6,06
>40,00	Muy alto	49,02	15,15
	Total	323,56	100,00

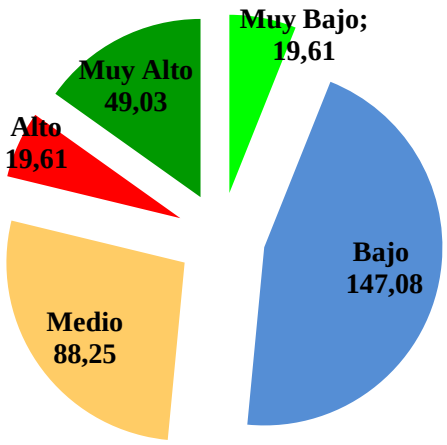


Figura 19. Distribución gráfica en km^2 de los niveles de fósforo en el cantón Chilla, 2013

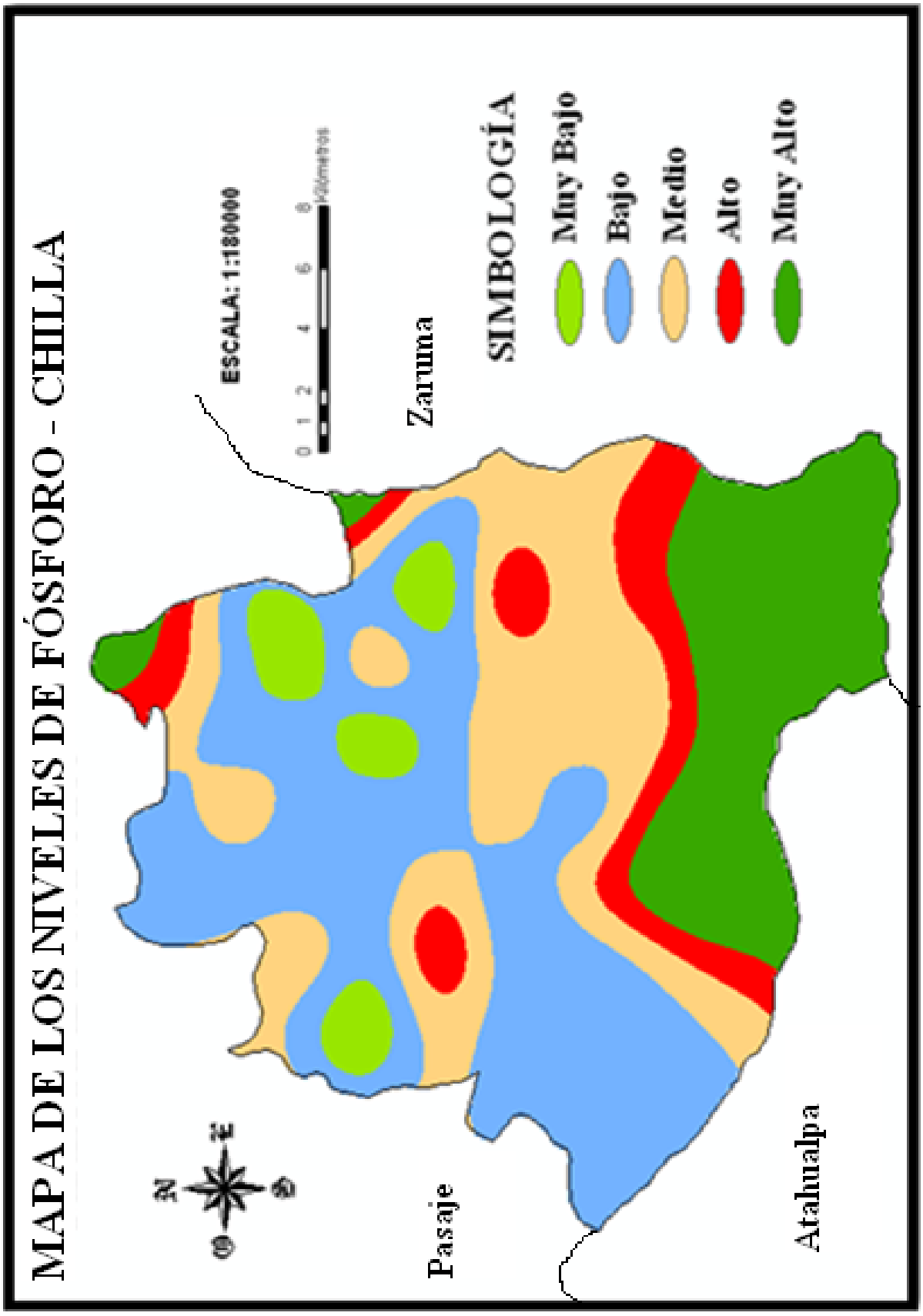


Figura 20. Mapa de los niveles de fósforo del cantón Chilla. 2013

4.1.8 MAPA DE LOS NIVELES DE POTASIO

Se observa en el cuadro 10 y figuras 21y 22 los diferentes niveles de potasio en los suelos del cantón Chilla.

El nivel Bajo de potasio en un 63.64 % de la superficie total del cantón Chilla se debe a la clase textural ya que la mayoría son Franco Arenoso, Iñiguez (2007) manifiesta que en este tipo de texturas el potasio es muy escaso o nula su presencia. En los escasos lugares donde hay una presencia Alto de potasio según Fuentes (1989) puede ser debido a la existencia de minerales como carnalita, polihalita y silvina que lo contienen.

Cuadro 10. Superficie de distribución y representación en porcentajes de los niveles de potasio en el cantón Chilla, 2013

Rangos (ug/ml)	Interpretación	Distribución (km^2)	Área represent. (%)
<50,00	Muy bajo	73,54	22,73
50,00- 100,0	Bajo	205,90	63,64
100,0- 200,0	Medio	39,22	12,12
200,0- 250,0	Alto	4,90	1,52
	Total	323,56	100,00

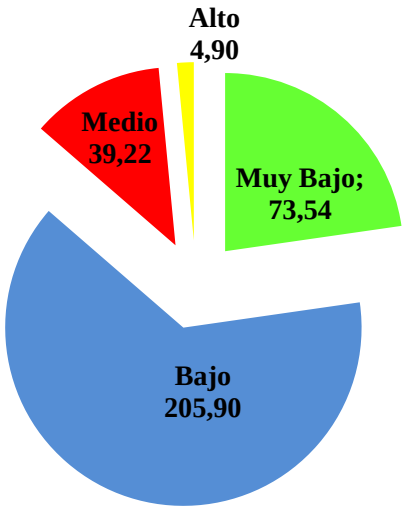


Figura 21. Distribución gráfica en km^2 de los niveles de potasio en el cantón Chilla, 2013

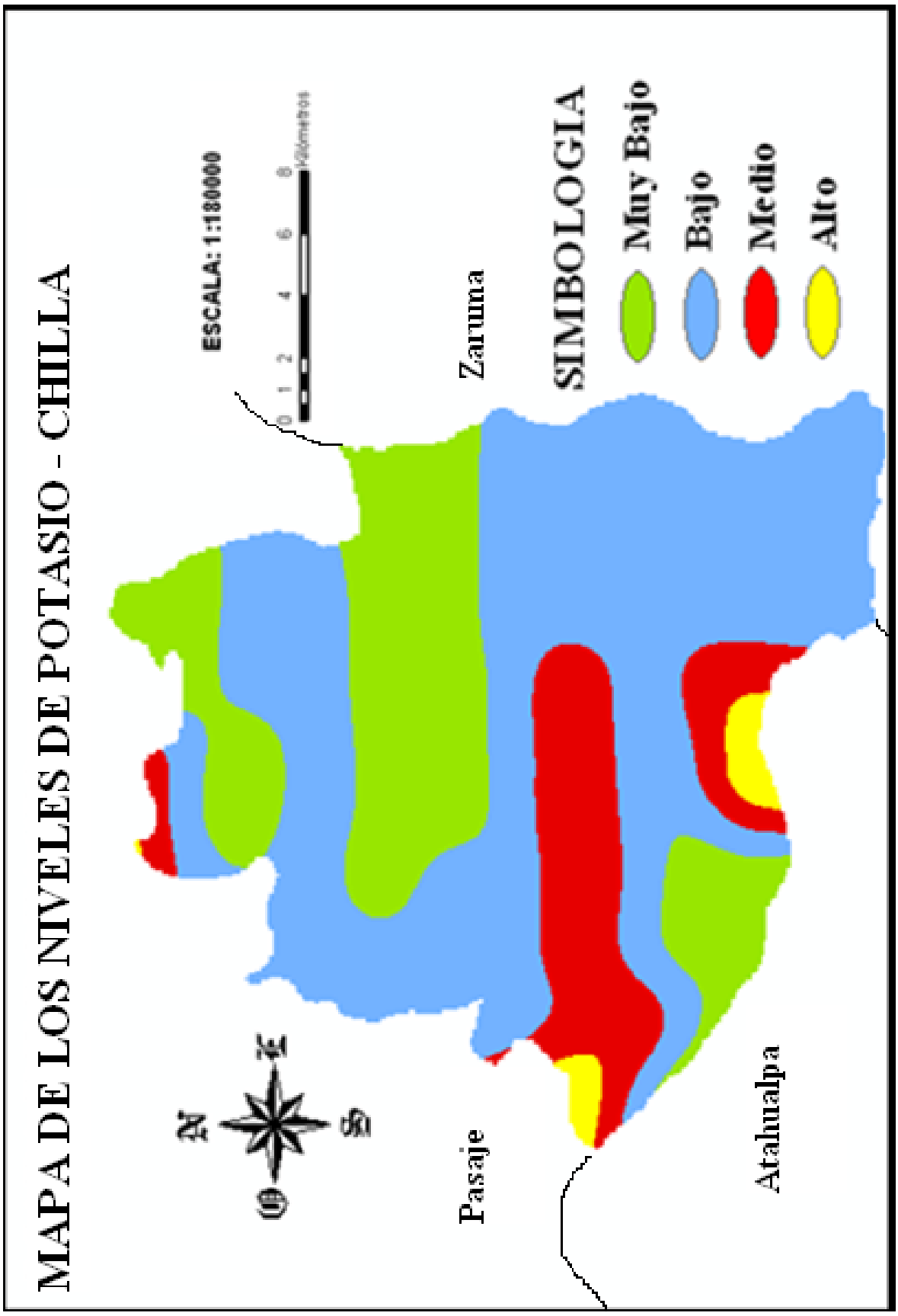


Figura 22. Mapa de los niveles de potasio del cantón Chilla. 2013

4.1.9 MAPA DE LOS NIVELES DE HIERRO

Se observa en el cuadro 11 y figuras 23 y 24 los diferentes niveles de hierro en los suelos del cantón Chilla.

El hierro se encuentra en niveles altos y muy altos en más del 98 % de toda la superficie del cantón. Según lo que manifiesta Domínguez (1989), esto puede ser debido a la presencia de minerales tales como: hematita, magnetita, limonita, pirita, siderita e ilmenita. La disponibilidad de hierro soluble (ferroso F^{++}) en suelos ácidos es muy alta, lo cual puede resultar en toxicidad, intoxicación en los cultivos y por ende una baja en la producción, ante lo cual se deberá realizar una fertilización adecuada para cada cultivo.

Cuadro 11. Superficie de distribución y representación en porcentajes de los niveles de hierro en el cantón Chilla, 2013

Rangos (ug/ml)	Interpretación	Distribución (km^2)	Área represent. (%)
30,00 – 45,00	Medio	4,90	1,52
45,00 – 60,00	Alto	14,71	4,55
> 60,00	Muy alto	303,95	93,94
	Total	323,56	100,00

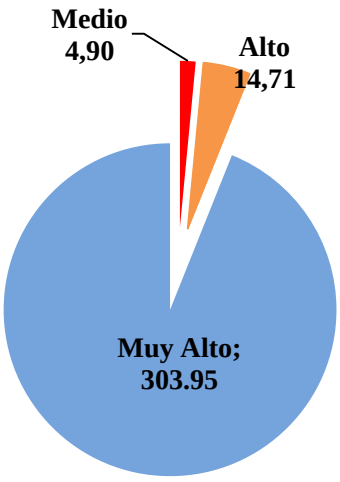


Figura 23. Distribución gráfica en km^2 de los niveles de hierro en el cantón Chilla, 2013

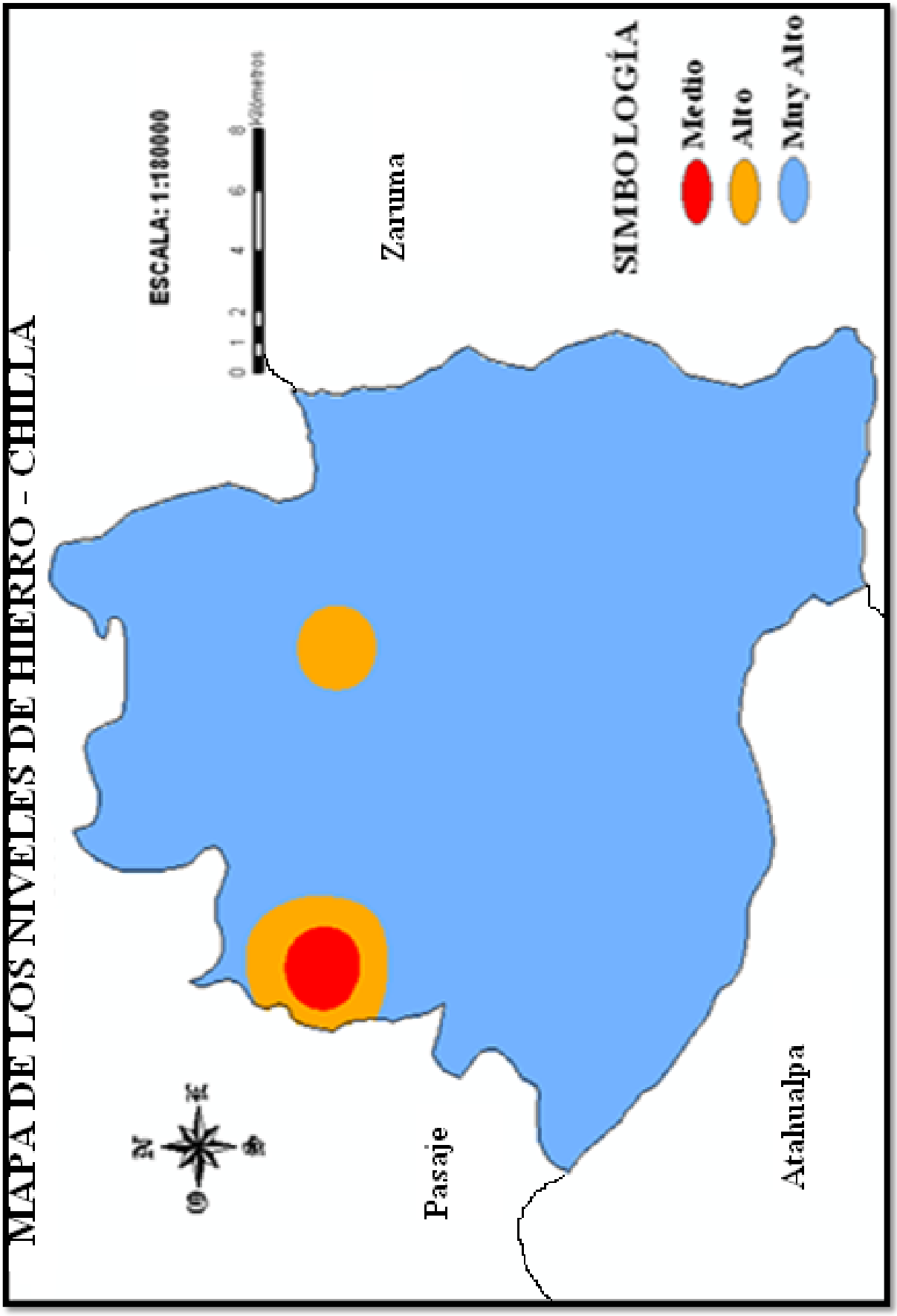


Figura 24. Mapa de los niveles de hierro del cantón Chilla. 2013

4.1.10 MAPA DE LOS NIVELES DE COBRE

Se observa en el cuadro 12 y figuras 25 y 26 los diferentes niveles de cobre en los suelos del cantón Chilla.

Los niveles de cobre en la superficie del cantón Chilla son equitativos ya que van desde Muy Baja a Muy Alta. Según Íñiguez (2007) el contenido de cobre en los suelos es muy variada q va desde trazas hasta 150 ug/ml, el contenido de cobre asimilado depende, sobre todo, del lavado de los suelos y de su precipitación en los suelos alcalinos. El cantón Chilla tiene alta precipitación y suelos ácidos razón por la cual no es abundante la presencia de este elemento en toda la superficie.

Cuadro 12. Superficie de distribución y representación en porcentajes de los niveles de cobre en el cantón Chilla, 2013

Rangos (ug/ml)	Interpretación	Distribución (km^2)	Área represent. (%)
< 1,50	Muy bajo	93,15	28,79
1,50 – 3,00	Bajo	68,63	21,21
3,00 – 4,50	Medio	63,73	19,70
4,50 – 6,00	Alto	63,73	19,70
> 6,00	Muy alto	34,32	10,61
	Total	323,564	100,00

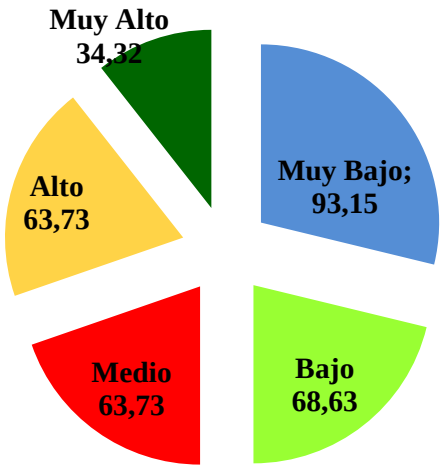


Figura 25. Distribución gráfica en km^2 de los niveles de cobre en el cantón Chilla, 2013

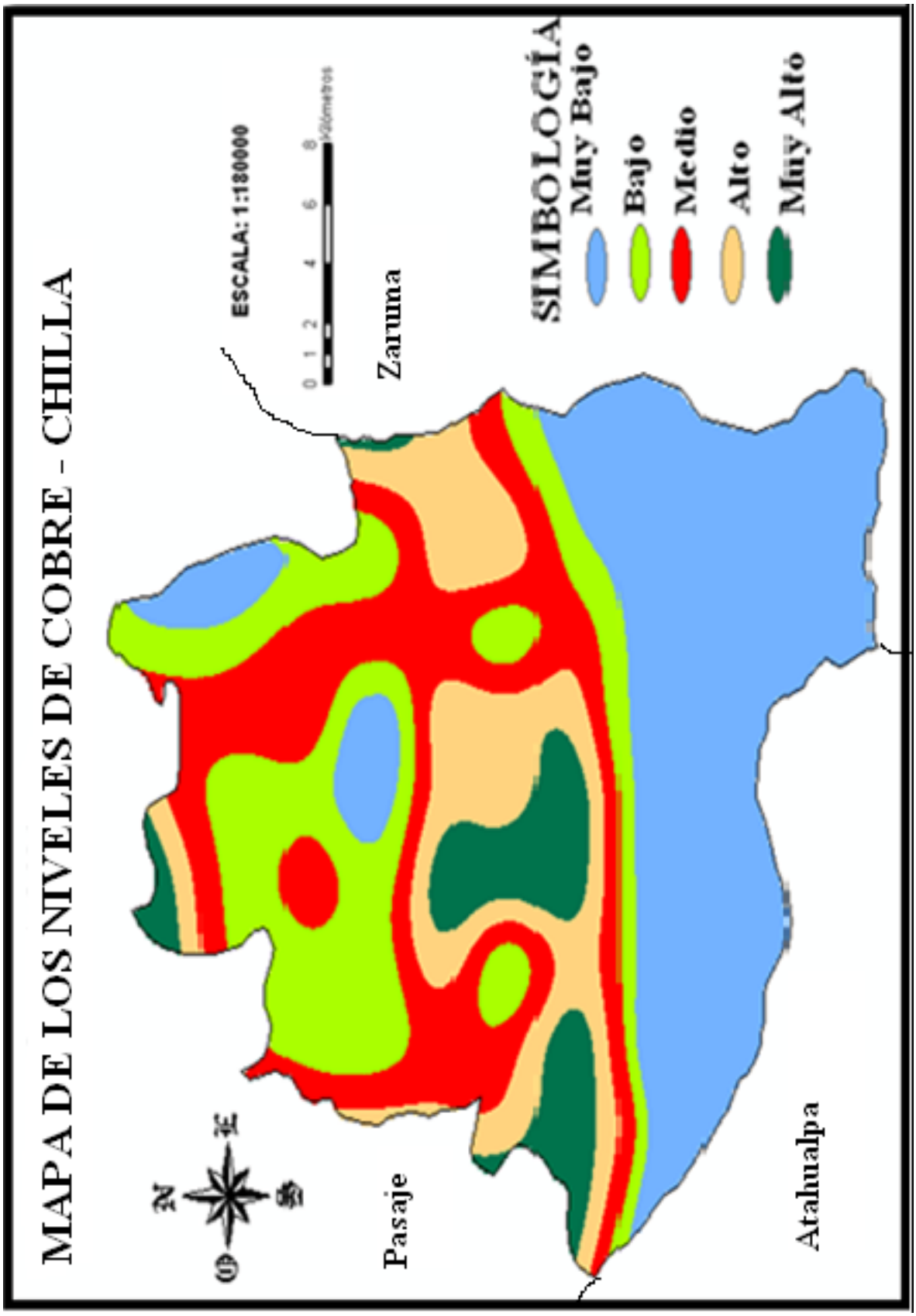


Figura 26. Mapa de los niveles de cobre del cantón Chilla. 2013

4.1.11 MAPA DE LOS NIVELES DE ZINC

Se observa en el cuadro 13 y figuras 27 y 28 los diferentes niveles de zinc en los suelos del cantón Chilla.

Mas del 98 % de la superficie total del cantón Chilla tiene niveles de zinc entre Muy Bajo y Bajo, Fuentes (1989) menciona que la disponibilidad de zinc se condiciona a la presencia en el suelo de otros iones antagónicos (exceso de fósforo y un pH muy alto). El área en estudio tiene niveles bajos de fósforo y un pH muy ácido lo cual influye directamente para que los niveles de zinc sean Bajos.

Cuadro 13. Superficie de distribución y representación en porcentajes de los niveles de zinc en el cantón Chilla, 2013

Rangos (ug/ml)	Interpretación	Distribución (km^2)	Área represent. (%)
< 2,00	Muy bajo	191,20	59,09
2 00 – 4,00	Bajo	127,46	39,39
4,00 – 6,00	Medio	4,90	1,52
	Total	323.56	100.00

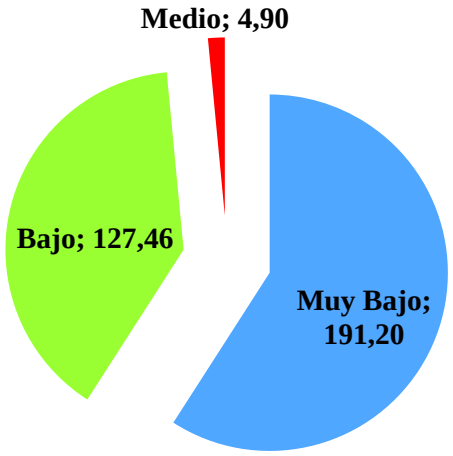


Figura 27. Distribución gráfica en km^2 de los niveles de zinc en el cantón Chilla, 2013

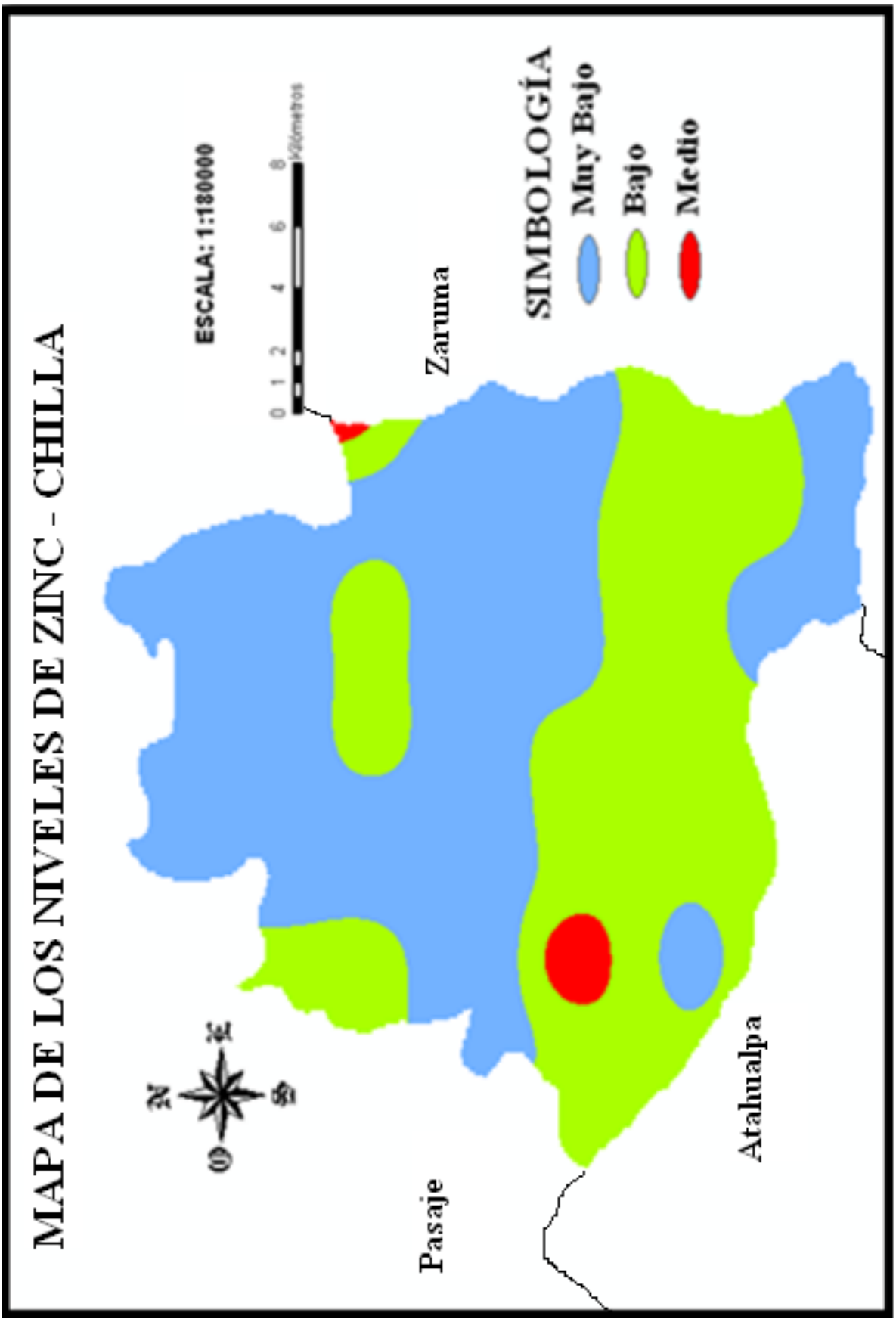


Figura 28. Mapa de los niveles de zinc del cantón Chilla. 2013

4.1.12 MAPA DE LOS NIVELES DE MANGANESO

Se observa en el cuadro 14 y figuras 29 y 30 los diferentes niveles de manganeso en los suelos del cantón Chilla.

Los niveles de Mangnesio presentan valores muy altos en el 63.64 % de la superficie total del cantón Chilla. De acuerdo a lo que manifiesta Íñiguez (2007) la presencia de este elemento se debe a que se encuentra retenido debido a la textura arenosa de los suelos y a la presencia de minerales que lo contienen tales como la pirolusita, psilomelana, braunita, hausmanita y manganita. La excesiva presencia de este elemento, como se lo puede notar en la figura 29, puede dar como resultado intoxicación en los cultivos y por ende una baja en la producción dado que está muy soluble debido a la acidez del suelo.

Cuadro 14. Superficie de distribución y representación en porcentajes de los niveles de manganeso en el cantón Chilla, 2013

Rangos (ug/ml)	Interpretación	Distribución (km^2)	Área represent. (%)
3,70 – 7,40	Bajo	44,12	13,64
7,40 – 11,10	Medio	34,32	10,61
11,10 – 14,80	Alto	39,22	12,12
> 14,80	Muy alto	205,90	63,64
	Total	323,56	100,00

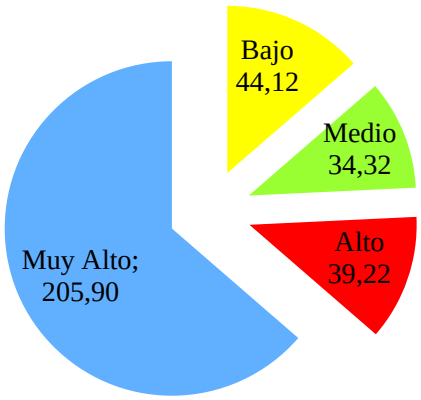


Figura 29. Distribución gráfica en km^2 de los niveles de manganeso en el cantón Chilla, 2013

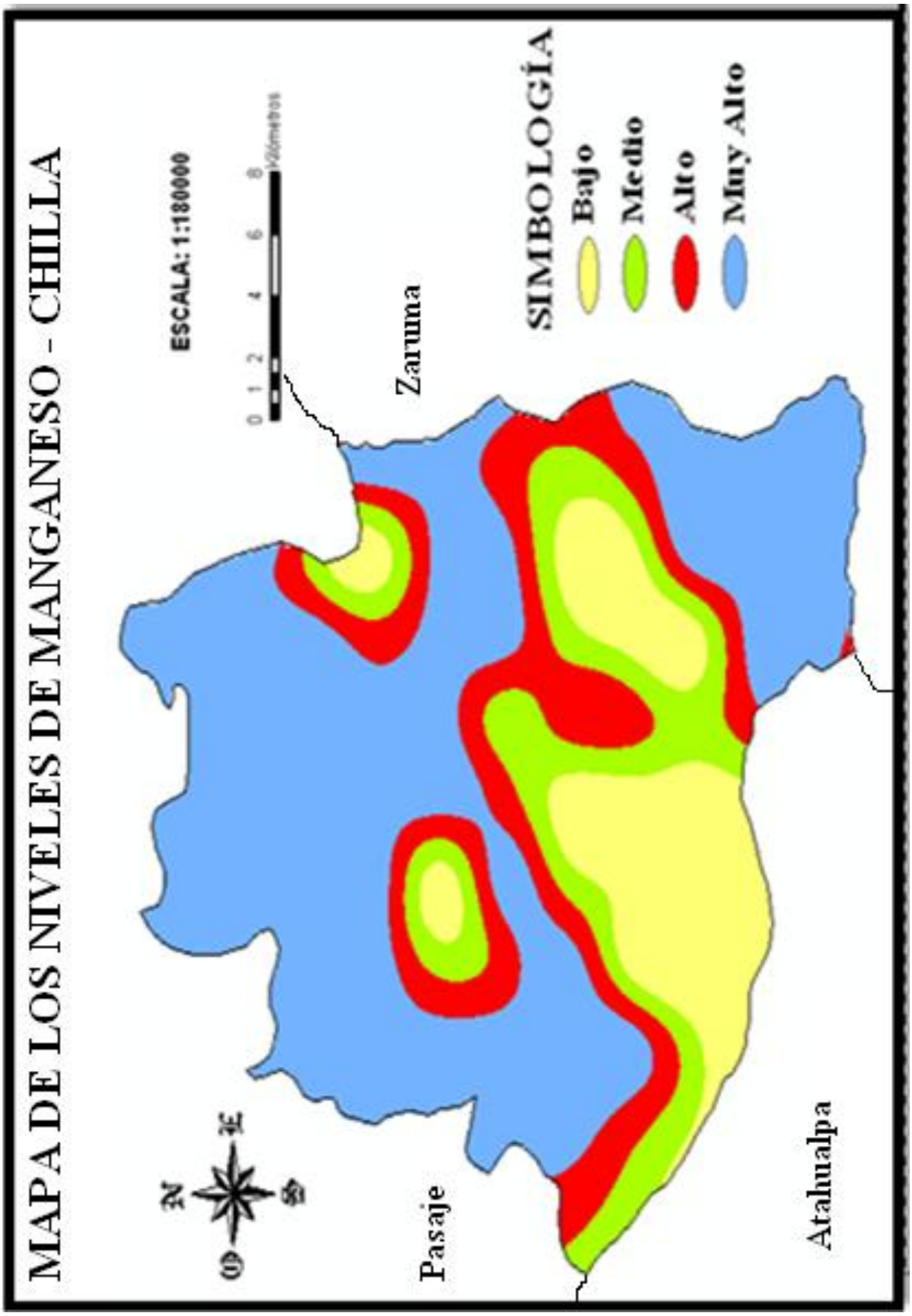


Figura 30. Mapa de los niveles de manganeso del cantón Chilla. 2013

4.1.13 MAPA DE LOS NIVELES DE SODIO CAMBIABLE

Se observa en el cuadro 15 y figuras 31 y 32 los diferentes niveles sodio cambiable en los suelos del cantón Chilla.

Más del 80 % de la superficie del cantón presenta valores Bajos y Muy Bajos de Sodio Cambiable, Navarro (2003) manifiesta que este elemento se presenta en altas concentraciones en suelos que se han encontrado inundados por el agua del mar o zonas cercanas, suelos abonados regularmente con fertilizantes sódicos, y aquellos originados bajo climas áridos. El cantón Chilla se encuentra muy alejado de la zona costera y a gran altitud (promedio 2500 msnm), por esta razón encontramos baja concentración de este elemento puesto que el pH de los suelos que tenemos en el cantón son ácidos.

Cuadro 15. Superficie de distribución y representación en porcentajes de los niveles de sodio cambiable en el cantón Chilla, 2013

Rangos (me/100g)	Interpretación	Distribución (km^2)	Área represent. (%)
< 0,50	Muy bajo	137,27	42,42
0,50 – 1,00	Bajo	122,56	37,88
1,00 – 1,50	Medio	58,83	18,18
1,50 – 2,00	Alto	4,90	1,52
	Total	323,56	100,00

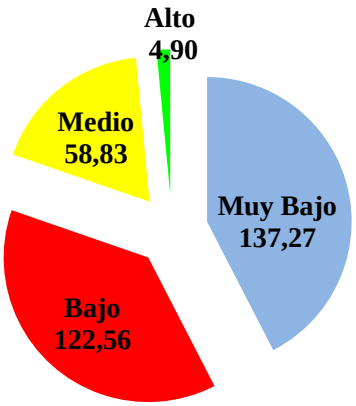


Figura 31. Distribución gráfica en km^2 de los niveles de sodio cambiable en el cantón Chilla, 2013

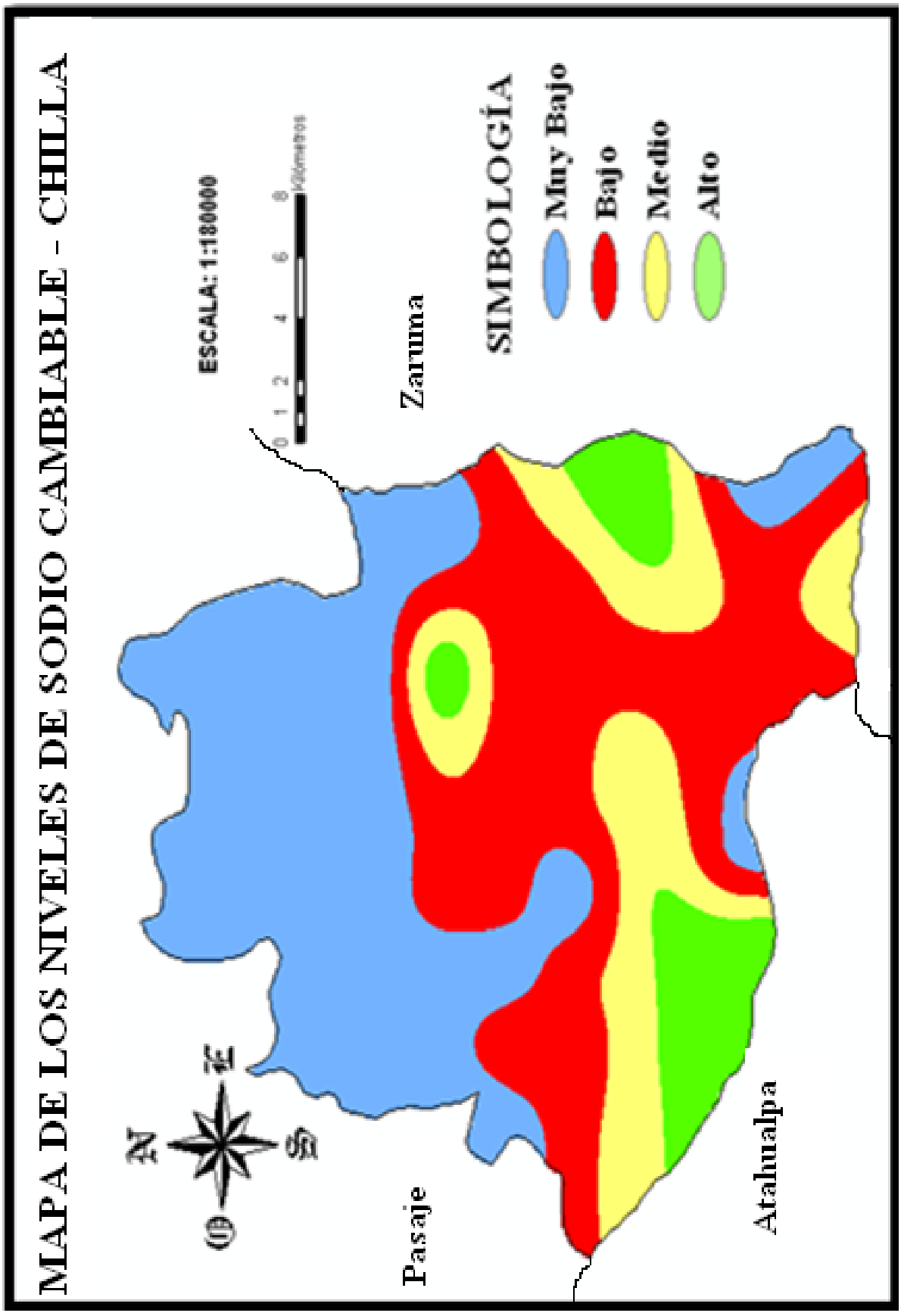


Figura 32. Mapa de los niveles de sodio cambiable del cantón Chilla. 2013

4.1.14 MAPA DE LOS NIVELES DE POTASIO CAMBIABLE

Se observa en el cuadro 16 y 33 y 34 los diferentes niveles de potasio cambiable en los suelos del cantón Chilla.

El potasio cambiable se encuentra en niveles muy bajo y bajo en más del 98 % de la superficie del cantón, según Íñiguez (2007) esto puede ser debido a la textura del suelo ya que es de textura arenosa y en suelos de este tipo el potasio cambiable está en muy bajas concentraciones o es nulo. También puede ser causa que estos están muy lejos del mar y a gran altitud (2500 msnm promedio) y no tiene la influencia de las corrientes marina subterráneas.

Cuadro 16. Superficie de distribución y representación en porcentajes de los niveles de potasio cambiable en el cantón Chilla, 2013

Rangos (me/100g)	Interpretación	Distribución (km^2)	Área represent. (%)
< 0.20	Muy Bajo	205,90	63,64
0,20 – 0,40	Bajo	112,76	34,85
0,40 – 0,60	Medio	4,90	1,52
	Total	323,56	100,00

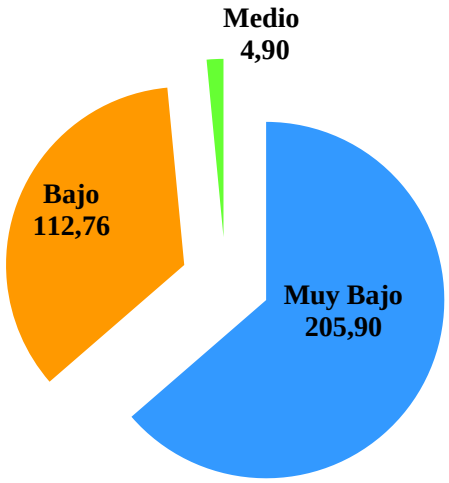


Figura 33. Distribución gráfica en km^2 de los niveles de potasio cambiable en el cantón Chilla, 2013

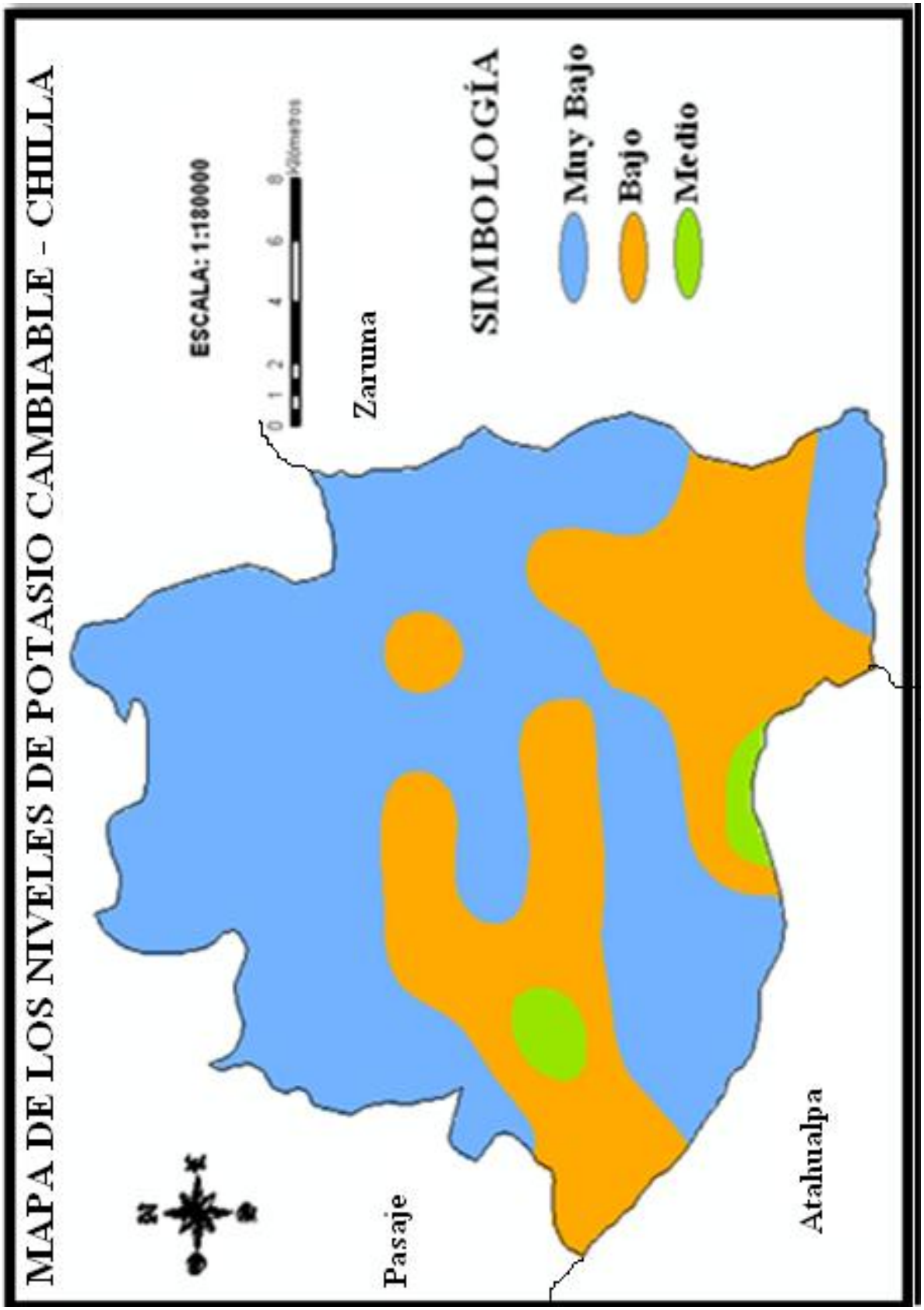


Figura 34. Mapa de los niveles de potasio cambiable del cantón Chilla. 2013

4.1.15 MAPA DE LOS NIVELES DE CALCIO CAMBIABLE

Se observa en el cuadro 17 y figuras 35 y 36 los diferentes niveles de calcio cambiable en los suelos del cantón Chilla.

Los niveles de calcio cambiable en el cantón tienen una distribución regular puesto que van desde Bajo a Muy Alto con un leve dominio de los valores Alto y Muy Alto que ocupan más del 53 % de la superficie del cantón, Íñiguez (2007) menciona que el pH influye en la disponibilidad del Calcio Cambiable y también del Magnesio cambiable, al aumentar el pH hasta 8.2 se incrementa la disponibilidad de Ca^{++} y Mg^{++} asimilables y 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, también menciona que los suelos deficientes en calcio son raros, incluso los suelos ácidos. Es por este motivo que los niveles d este elemento son altos.

Cuadro 17. Superficie de distribución y representación en porcentajes de los niveles de calcio cambiable en el cantón Chilla, 2013

Rangos (me/100g)	Interpretación	Distribución (km^2)	Área represent. (%)
2,00 – 4,00	Bajo	63,73	19,70
4,00 – 6,00	Medio	88,24	27,27
6,00 – 8,00	Alto	63,73	19,70
> 8,00	Muy alto	107,85	33,33
	Total	323,56	100,00

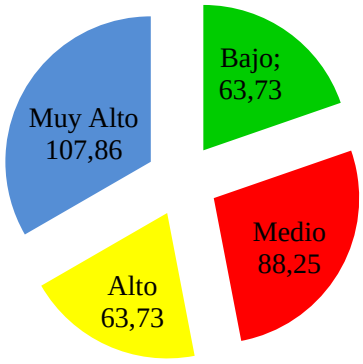


Figura 35. Distribución gráfica en km^2 de los niveles de calcio cambiable en el cantón Chilla, 2013

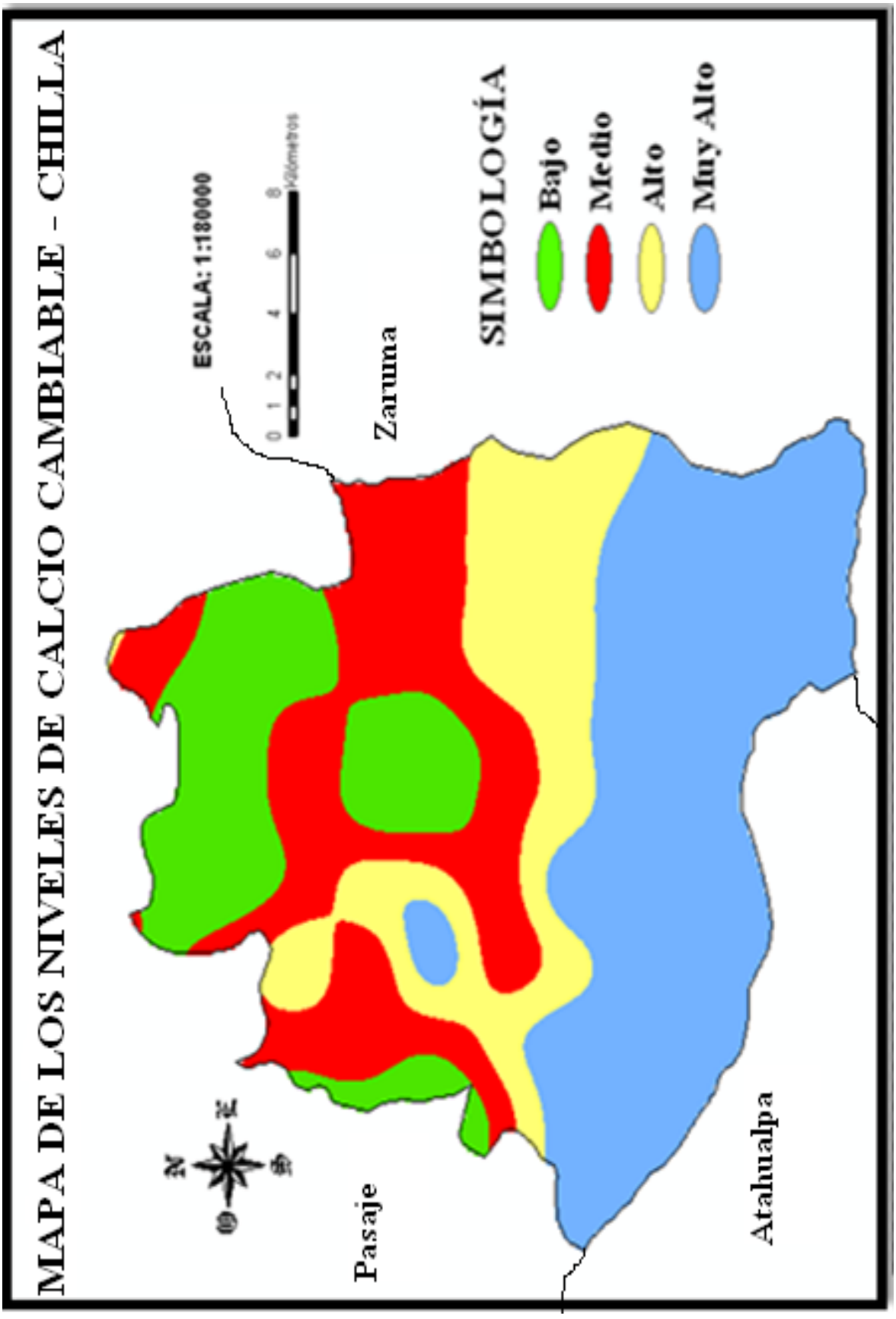


Figura 36. Mapa de los niveles de calcio cambiable del cantón Chilla. 2013

4.1.16 MAPA DE LOS NIVELES DE MAGNESIO CAMBIABLE

Se observa en el cuadro 18 y figuras 37 y 38 los diferentes niveles de magnesio cambiable en los suelos del cantón Chilla.

Los niveles de magnesio cambiable en más del 74% de la superficie del cantón son Alto y Muy Alto.Íñiguez (2007) menciona que el pH influye en la disponibilidad del Calcio Cambiable y también del Magnesio cambiable, al aumentar el pH hasta 8.2 se incrementa la disponibilidad de Ca^{++} y Mg^{++} asimilables y 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, también menciona que los suelos deficientes en magnesio son raros, incluso en los suelos ácidos.

Cuadro 18. Superficie de distribución y representación en porcentajes de los niveles de magnesio cambiable en el cantón Chilla, 2013

Rangos (me/100g)	Interpretación	Distribución (km^2	Área represent. (%)
0,60 - 1,20	Bajo	34,32	10,61
1,30 - 1,80	Medio	49,02	15,15
1,90 - 2,40	Alto	78,44	24,24
> 2,40	Muy alto	161,78	50,00
0,60 - 1,20	Total	323,56	100,00

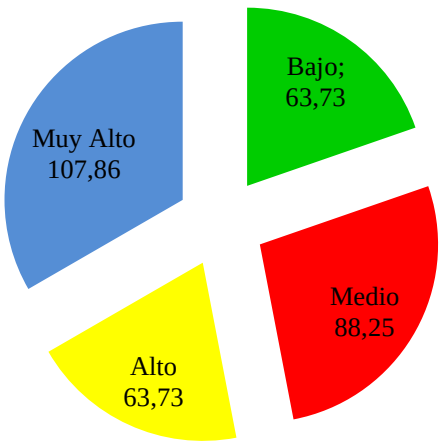


Figura 37. Distribución gráfica en Km^2 de los niveles de magnesio cambiable en el cantón Chilla, 2013

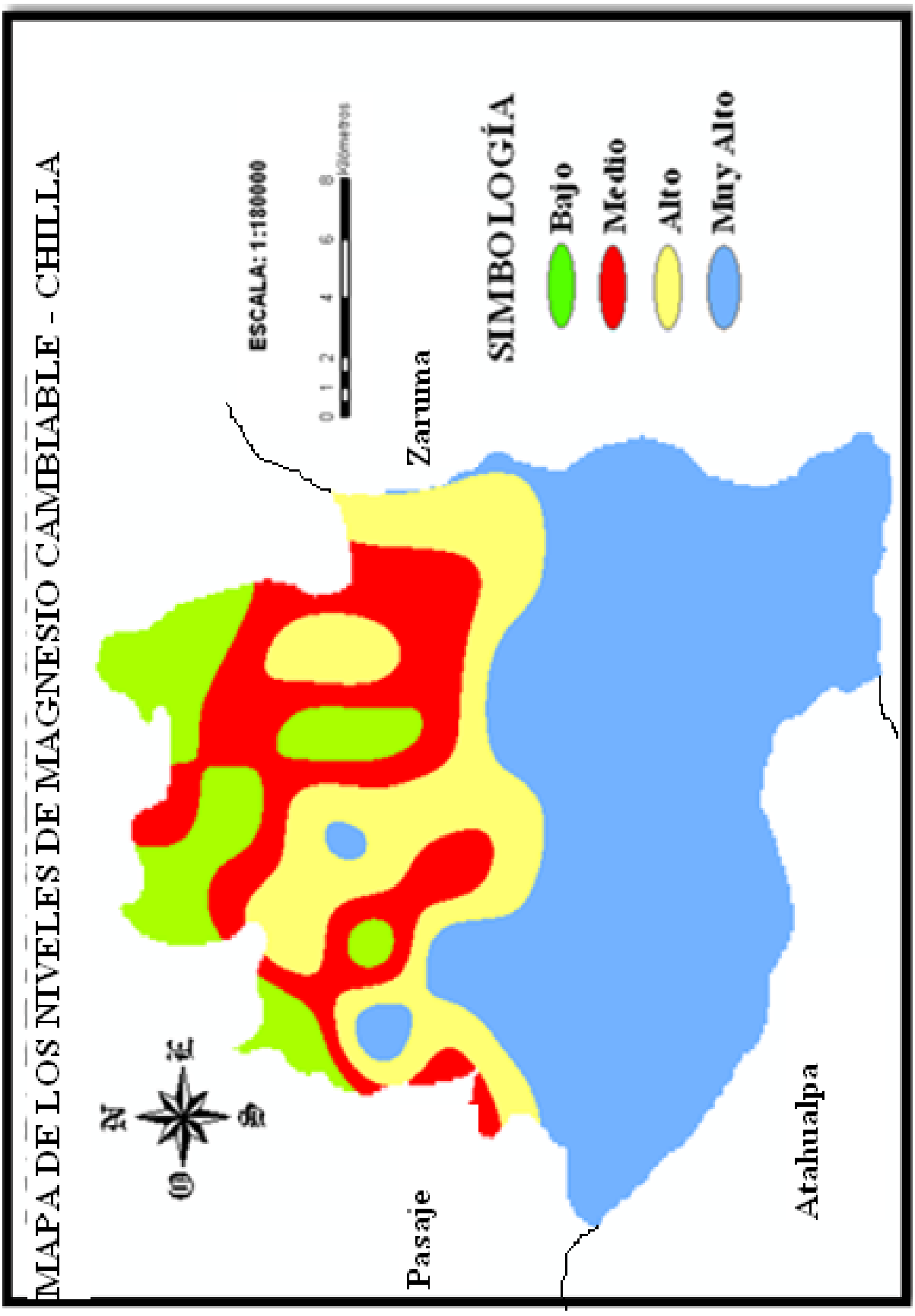


Figura 38. Mapa de los niveles de magnesio cambiable del cantón Chilla. 2013

4.1.17 MAPA DE LOS NIVELES DE FERTILIDAD

Se observa en el cuadro 19 y figuras 39 y 40 los diferentes niveles de fertilidad en los suelos del cantón Chilla.

En base a tabla de clasificación de fertilidad de suelos del Instituto Geográfico "Agustín Codazzi" (1979) y en base a los análisis físico – químico realizados a las muestras de suelo del cantón Chilla, Los niveles de fertilidad van de Muy Bajo a Moderado, siendo el nivel Bajo el que predomina en un 50 % de la superficie total. Según manifiesta Fuentes (2002) la fertilidad natural depende, sobre todo, de su capacidad de retener los elementos nutritivos durante cierto tiempo. También intervienen otros factores como la acidez del suelo puesto que con un exceso de sales algunos nutrimentos se bloquean y aun estando presentes en el suelo, no están disponibles para ser aprovechados por las plantas, otra de las causas puede ser la textura que es arenosa que con la presencia de continuas lluvias lavan fácilmente los suelos y los nutrientes se lixivian y van a las partes más bajas ya que la mayoría de los suelos del cantón son con pendientes muy pronunciadas o también por capilaridad.

Cuadro 19. Superficie de distribución y representación en porcentajes de los niveles de fertilidad en el cantón Chilla, 2013

z	Interpretación	Distribución (km^2)	Área represent. (%)
-5 - 2	Muy Baja	93,15	28,79
3 - 5	Baja	161,78	50,00
6 - 8	Moderada	68,63	21,21
	Total	323,564	100,00

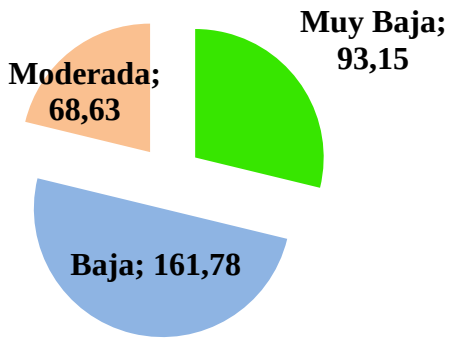


Figura 39. Distribución gráfica en km^2 de los niveles de fertilidad en el cantónChilla, 2013

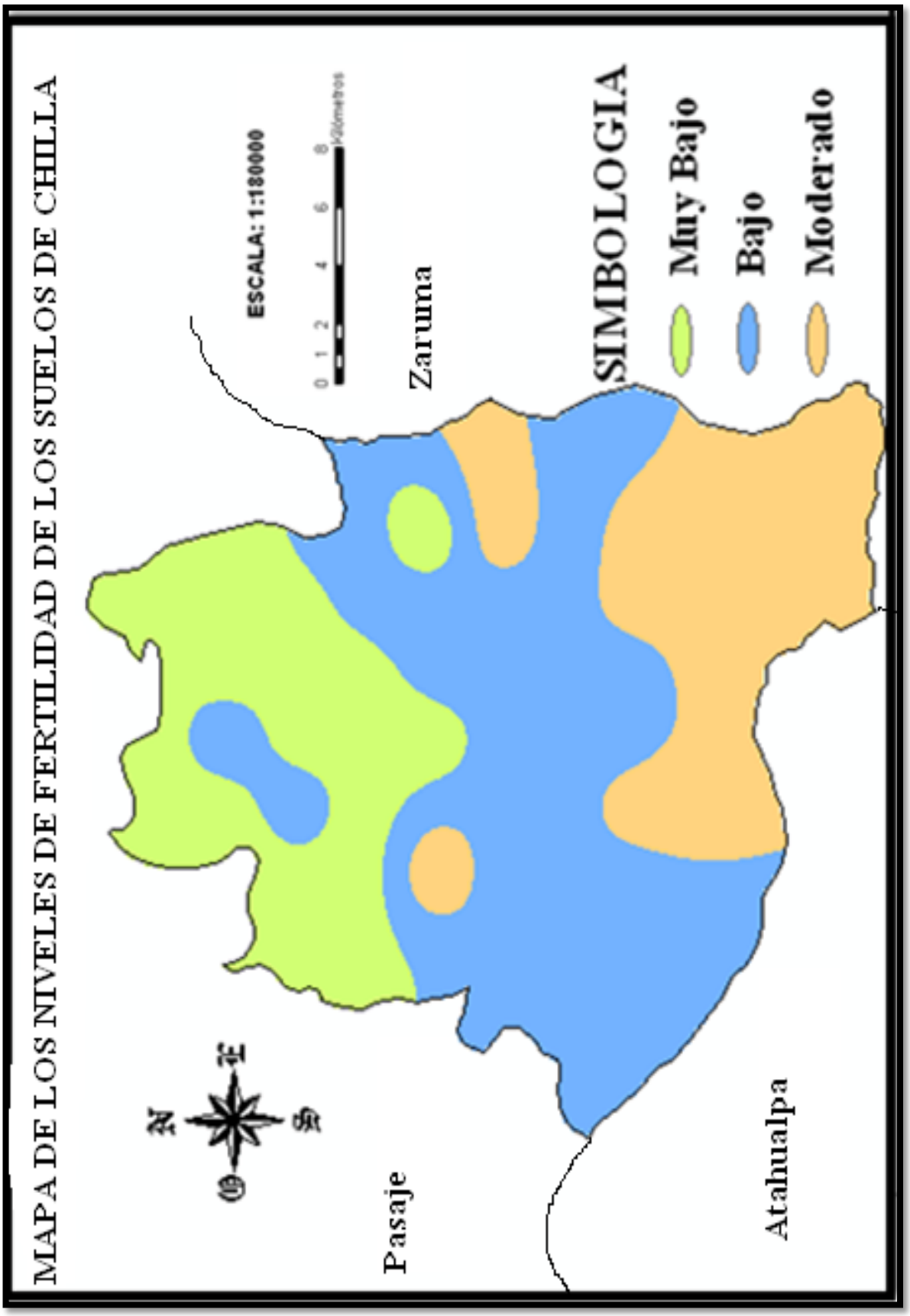


Figura 40. Mapa de los niveles de fertilidad del cantón Chilla, 2013

5. CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos en el presente trabajo investigativo de titulación se puede concluir lo siguiente:

1. Que la clase textural que predomina en los suelos del cantón Chilla, es Franco Arenoso en un 78.79% de la superficie total.

2. Que los suelos del cantón Chilla son muy ácidos. El nivel de materia orgánica, carbono orgánico y por ende el nitrógeno son muy bajos. La C. I.C va de muy bajo a Alto. Los niveles de los elementos cambiables cambiables Calcio y Magnesio son Muy Altos mientras que los de Sodio y Potasio son Muy Bajos. Los micronutrientes tuvieron una distribución irregular y de variados niveles

3. Que los suelos del cantón Chilla, presentan un nivel de fertilidad Bajo en un 50% de la superficie total.

4. Que los sistemas de información geográfica (SIG) se constituyen en una herramienta de suma importancia, para la agricultura de precisión, porque permite capturar, almacenar, administrar, manipular y presentar datos relacionados a elementos útiles y que están en la superficie del suelo y así conocer exactamente con que tipos de suelo contamos para realizar cultivos y aplicar fertilizaciones.

6. RECOMENDACIONES

1. Realizar estudios posteriores de los suelos del cantón Chilla, pero sectorizando el área de estudio para precisarde manera técnica y detallada la composición mineralógica y química de los mismos.

2. Utilizar fertilizantes de reacción alcalina, para evitar que se bloquee la disponibilidad de nutrimentos para las plantas ya que se cuenta con suelos Muy Ácidos, además se recomienda realizar encalados para elevar el pH en los suelos que son destinados a la agricultura.

7. RESUMEN

El presente trabajo investigativo de titulación consiste en la mapificación del grado de fertilidad de suelos según los SIG del cantón Chilla, el área en estudio se encuentra ubicado políticamente en la provincia de El Oro, Región siete, Ecuador, tiene una superficie de 323.56 km^2, que en relación con la provincia representa el 5,58 % de la extensión total, los límites son: al norte con el Cantón Pasaje; al sur con los Cantones Atahualpa y Zaruma; al este con el Cantón Zaruma y al oeste con el Cantón Santa Rosa. Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) tienen la capacidad para manejar grandes volúmenes de datos y ejecutar análisis cada vez más complejos. Los análisis de componentes principales y otros procedimientos estadísticos eran hasta hace unos años procesos pocos menos que imposibles para lidiar con la información de un SIG que se han convertido en una herramientade suma importancia, para la agricultura de precisión, porque permite capturar, almacenar, administrar, manipular y presentar datos relacionados a elementos útiles y que están en la superficie del suelo. 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, fertilida , 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 Chilla.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 micronutrimentos N, P, K, Ca, Fe, Cu, Zn, Mn, el espectrofotómetro de absorción atómica: y , pH, conductómetro. Con los resultados obtenidos se llegó las siguientes conclusiones: Que los suelos del cantón Chilla, en un 78.79% de la superficie total son de clase textural Franco Arenoso. Que la Materia Orgánica presente en mayor parte de la superficie del cantón Chilla es Muy Bajo, por ende el nivel de nitrógeno también es Muy Bajo. Que la Capacidad de Intercambio Catiónico en estos suelos va desde Muy Bajo a Alto con una leve mayoría del nivel Bajo. Que los niveles de los elementos cambiables Calcio y Magnesio son Muy Altos mientras que los de Sodio y Potasio son Muy

Bajos. Que los niveles de macronutrientes en los suelos del cantón Chilla son bajos. Que los niveles de micronutrientes tuvieron una distribución irregular y de variadas concentraciones. Que los suelos del cantón Chilla son muy ácidos. Que de acuerdo a la clasificación del grado de fertilidad de suelos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi de Colombia. Los suelos del cantón Chilla, presenta un nivel de fertilidad Bajo.

Palabras clave: Mapas, fertilidad, SIG, análisis.

8. SUMMARY

This research work degree is the mapificación the degree of soil fertility as GIS Canton Chilla ,the study are aispolitically situated in the province of El Oro , Region seven Ecuador , has an area of 323.56 km^2 , that in relation to the province accounts for 5.58% of the total area , the limits are: to the north by the Pasaje Canton on the south by the Zaruma and Atahualpa Cantons on the east by the Canton Zaruma and westbythe Canton Santa Rosa. The Geographic Information Systems (GIS) have the ability to han large volumes of data and performincrea singly complex analysis. The principal components analysis and other statistical procedures were until recently few processes unless impossible to deal with information in a GIS have become a tool of paramount importance for precision agriculture ,becauseitallowsto capture, store , manage , manipulate and presentrelated and are useful elements in the ground surface data . The objectives were: 1. To determine the degree of soil fertility by texture analysis, pH, organic carbon, organic matter, cation exchange capacity, Ca + +, Mg + +, K + and Na + exchangeable, N, P, K and complementary Fe, Cu, Zn, Mn. 2. Develop through GIS maps texture, fertility, pH, organic carbon, organic matter, cation exchange capacity Ca + + , Mg + + , K + and Na + exchangeable, N, P, K, Fe, Cu, Zn and MnChilla canton. Protocols for soil analysis were: for organic matter, Walkley and Black, for mechanical analysis, Bouyucus, for cation exchange capacity, Formaldehyde, for exchangeable bases Na +, Ca + +, Mg + +, K +, the macro and micronutrients N, P, K, Ca, Fe, Cu, Zn, Mn, atomic absorption spectrophotometer: and pH, conductometer. With theresults, the following conclusions were reached :ThatChilla Canton soils , in 78.79 % of the total area are sandy textural class . That Organic Matter present in most of the surface of Canton Chilla is Very Low, thus the nitrogen level is also very low. The Cation Exchange Capacity in these soils ranges from very low to high with a slight majority of Low .Levels of exchangeable calcium and magnesium elements are Very High while Sodium and Potassium are Very Low .That the levels of macronutrients in soils are low Chilla Canton .Micronutrient levels and hadan irregular distribution of varying concentrations .That Chilla Canton soils are very acidic. That according to the classification of the degree of fertility of soils Codazzi of Colombia .Chilla Canton soils , has a fertility level Low.

Keywords: Maps, fertility, SIG, analysis.

9. BIBLIOGRAFÍA CITADA

BUCKMAN H, Y BRADY N. 1987. Naturaleza y propiedades del suelo. UTHEA. México, Mex. p. 11,12, 394, 395.

Carmona, A. y Monsalve, J. 2008. Sistemas de información geográfica. Recuperado el 20 de octubre, 2013 del sitio Web: http://www.monografias.com/trabajos/gis/gis.shtml#ixzz2n5stTCfD

CÓRDOVA, C. 1976. Fisiología vegetal. Blume. Barcelona, España. p. 165

DOMINGUEZ A. 1989. Tratado de fertilización. España. p. 127,128, 163

Facultad de Agronomía de la Universidad de la Republica. 2001. Recuperado el 19 de octubre, 2013 del sitio Web: http://www.fagro.edu.uy/

Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile. Textura del suelo. Recuperado el 19 de octubre, 2013 del sitio Web: http://www.uclm.es/users/higueras/yymm/Arcillas.htm

Food and Agriculture Organization of the United Nations.2010. Recuperado el 21 de octubre, 2013. Del sitio Web: http://www.fao.org/waicent/404/NotFound.asp?404;/docrep/w29625/w2962s04.htm#celdasyzonas

FOTH H, 1985. Levantamiento de suelos. Continental. Mexico. p. 252.

García, E. y Suarez, M. 2006. Las arcillas: propiedades y usos. Recuperado el 21 de octubre, 2013. Del sitio Web: http://www.uclm.es/users/higueras/yymm/Arcillas.htm

INSTITUTO DE LA POTASA Y EL FÓSFORO. 1997. Manual de fertilidad de los suelos. Quito – Ecuador. 54: p. 1 – 8.

IÑIGUEZ, M. 2011. Manejo y conservación de suelos. Cosmos. Loja. P. 123

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

MAZLIAK, P. 1976. Fisiología vegetal nutrición y metabolismo. Omega. Barcelona, España. p. 302-305

MELA, P. 1963. Tratado de edafología y sus distintas aplicaciones. Agrociencia. Zaragoza, España. p. 33-41, 130-132, 141-145.

MILTHORPE, F Y MOORBY, J. 1982. Introducción a la fisiología de los cultivos. Hemisferio Sur. Buenos Aires. p. 13-24

NAVARRO G. 2003. Química agrícola: el suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal. Mundi – Prensa. España. p. 220 y 422

PLASTER E, 2005. La ciencia del suelo y su manejo. España. p. 42, 50, 201

PORTA J, LOPEZ M, y ROQUERO DE LABURCU C. 2003. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. España. p. 52, 291, 593.

URBANO P. 1992. Tratado de fitotecnia general. Mundi – prensa. España. p. 622

Wikipedia Arena. recuperado el 21 de octubre, 2013. Del sitio Web: http://es.wikipedia.org/wiki/Arena

Food and Agriculture Organization of the United Nations.2010. Recuperado el 21 de octubre, 2013. Del sitio Web: http://www.fao.org/waicent/404/NotFound.asp?404;/docrep/w29625/w2962s04.htm#celdasyzonas

APENDICE

Apéndice 1. Ubicacióngeoreferenciada en unidades UTM de las muestras en que fueron objeto de estudio, 2013

No.	Coordenadas	
	X	Y
1	660000	9610000
2	658000	9610000
3	656000	9610000
4	658000	9612000
5	656000	9612000
6	658000	9614000
7	656000	9614000
8	654000	9614000
9	658000	9616000
10	656000	9616000
11	654000	9616000
12	652000	9616000
13	650000	9616000
14	648000	9616000
15	646000	9616000
16	644000	9616000
17	642000	9616000
18	642000	9618000
19	644000	9618000
20	646000	9618000
21	648000	9618000
22	650000	9618000

23	652000	9618000
24	654000	9618000
25	656000	9618000
26	658000	9618000
27	660000	9618000
28	660000	9620000
29	658000	9620000
30	656000	9620000
31	654000	9620000
32	652000	9620000
33	650000	9620000
34	648000	9620000
35	646000	9620000
36	644000	9620000
37	660000	9622000
38	658000	9622000
39	656000	9622000
40	654000	9622000
41	652000	9622000
42	650000	9622000
43	648000	9622000
44	646000	9622000
45	660000	9624000
46	658000	9624000
47	656000	9624000
48	654000	9624000

49	652000	9624000
50	650000	9624000
51	648000	9624000
52	646000	9624000
53	644000	9624000
54	646000	9626000
55	648000	9626000
56	650000	9626000
57	652000	9626000
58	654000	9626000
59	656000	9626000
60	656000	9628000
61	654000	9628000
62	652000	9628000
63	650000	9628000
64	654000	9630000
65	652000	9630000
66	650000	9630000

Apéndice2. Resultados de los análisis básicos del Laboratorio Nemalab, 2013

No.	pH	ppm					
		P	K	Zn	Cu	Fe	Mn
1	4,0	52,69	66,47	0,9	0,8	250,0	140,2
2	4,3	50,40	70,38	1,2	0,4	264,3	129,7
3	4,3	54,98	74,29	1,5	1,1	270,3	130,4
4	4,4	61,86	86,02	2,0	1,2	240,3	147,6
5	3,9	59,57	78,20	1,9	1,1	267,9	115,0
6	4,6	45,82	93,84	2,6	1,0	264,3	50,0
7	4,4	43,53	89,93	2,4	0,6	258,9	6,2
8	4,5	43,53	105,57	2,0	0,2	261,5	8,7
9	4,5	34,37	86,02	2,9	0,4	240,1	7,4
10	4,0	29,78	86,02	2,4	0,6	250,1	6,2
11	3,9	25,20	74,29	3,0	0,7	205,4	14,5
12	4,0	38,95	70,38	3,2	0,3	269,4	4,1
13	4,2	43,53	66,47	3,1	0,1	278,3	5,1
14	4,4	25,20	74,29	2,5	0,5	248,7	5,2
15	4,5	13,75	70,38	2,1	0,5	137,9	24,1
16	4,4	18,33	113,39	2,0	2,2	122,2	12,7
17	4,3	16,04	78,20	2,3	0,8	114,9	10,6
18	4,2	16,04	212,21	2,6	11,0	110,4	14,1
19	4,0	11,46	140,76	3,4	10,2	90,7	26,4
20	4,1	16,04	199,41	4,9	17,7	78,5	25,0
21	4,6	18,33	156,40	3,4	5,6	85,6	16,4
22	4,8	22,91	113,39	3,8	8,9	89,2	8,3

23	4,7	18,33	140,76	2,1	7,3	97,0	7,4
24	5,1	27,49	109,48	1,1	4,9	130,4	11,8
25	5,2	25,20	86,02	0,9	4,2	120,5	10,9
26	5,2	22,91	70,38	1,0	2,9	100,8	6,3
27	5,4	29,78	66,47	0,6	1,0	94,3	11,0
28	5,0	27,49	70,38	0,9	3,2	104,3	14,2
29	4,9	32,07	70,38	0,8	4,6	109,4	20,8
30	4,5	27,49	78,20	0,6	1,9	125,8	19,5
31	4,8	22,91	89,93	1,8	5,3	130,5	10,8
32	4,3	20,62	66,47	1,4	5,6	139,5	12,4
33	4,1	18,33	66,47	0,9	7,2	145,1	19,7
34	4,9	18,33	62,56	1,6	2,6	128,0	14,3
35	4,2	13,75	78,20	1,1	3,3	121,1	17,6
36	4,6	11,46	74,29	1,7	5,9	141,3	28,9
37	4,6	11,46	31,28	1,5	5,2	135,7	34,2
38	4,5	9,16	39,10	1,4	5,1	120,5	38,4
39	4,5	13,75	27,37	1,4	4,4	128,3	33,6
40	4,6	11,46	23,46	1,3	4,7	117,0	32,3
41	4,5	18,33	31,28	1,2	5,3	150,2	18,7
42	4,3	20,62	43,01	0,9	6,1	180,3	6,2
43	4,7	34,37	54,75	0,5	4,8	218,2	8,0
44	4,8	27,49	50,83	1,9	3,3	220,2	68,7
45	4,5	32,07	39,10	2,5	5,5	210,1	98,1
46	4,6	11,46	43,01	0,8	2,2	190,1	5,1
47	4,8	20,62	31,28	2,7	3,9	142,1	11,3
48	4,7	9,16	39,10	3,2	0,7	53,9	161,7

49	4,7	13,75	39,10	2,1	0,9	70,3	163,5
50	4,8	11,46	39,10	1,9	2,2	78,5	157,8
51	4,6	11,46	43,01	1,4	2,2	86,4	159,4
52	4,4	9,16	54,74	3,0	2,5	42,1	170,5
53	4,3	13,75	66,47	3,4	5,6	51,3	164,3
54	4,1	18,33	86,02	2,9	2,1	58,4	187,1
55	4,0	20,62	74,29	1,7	1,8	120,3	184,3
56	4,4	16,04	70,38	1,1	3,5	160,4	188,4
57	4,5	16,04	74,29	1,0	2,7	183,2	182,8
58	4,6	11,46	66,47	0,7	3,3	150,3	162,1
59	4,7	9,16	66,47	1,2	3,9	134,8	175,2
60	4,5	13,75	62,56	1,0	2,7	122,4	148,6
61	4,6	13,75	62,56	0,9	4,3	177,5	174,0
62	4,4	27,49	27,37	0,7	2,2	138,8	71,6
63	4,3	18,33	39,10	0,9	2,1	129,7	63,9
64	4,2	20,62	46,92	1,3	3,3	140,2	76,3
65	4,2	18,33	62,56	1,6	4,1	138,4	80,3
66	4,3	13,75	70,38	1,9	6,0	140,4	122,4

Apéndice3. Resultados de los análisis de Na^{+}, K^{+}, Ca^{++} y Mg^{++} cambiables en el laboratorio Nemalab, 2013

	Bases Cambiables: Ac NH4OH. 1 N					
	me/100 g					
Nº	Na	K	Ca	Mg	∑ de Bases	% Sat. Bases
1	1,04	0,16	8,47	5,68	15,35	51,17
2	1,10	0,18	10,41	5,47	17,16	53,63
3	1,04	0,20	12,27	5,81	19,32	74,31
4	0,97	0,25	11,35	5,50	18,07	60,23
5	0,94	0,23	10,25	4,70	16,12	50,38
6	1,10	0,26	9,37	4,25	14,98	51,30
7	0,89	0,34	8,47	4,13	13,83	50,47
8	1,07	0,34	9,88	4,10	15,39	73,29
9	1,10	0,28	10,24	4,24	15,86	54,32
10	0,98	0,26	10,23	4,10	15,57	61,79
11	1,12	0,14	10,41	4,37	16,04	72,25
12	1,13	0,12	9,27	4,05	14,57	57,36
13	1,14	0,13	9,21	3,68	14,16	73,75
14	1,12	0,14	8,68	3,40	13,34	56,05
15	1,10	0,12	8,47	3,37	13,06	73,37
16	1,14	0,27	8,35	4,09	13,85	65,33
17	1,12	0,20	8,69	4,05	14,06	61,67
18	0,92	0,34	8,54	3,64	13,44	56,00
19	0,87	0,38	9,21	3,25	13,71	56,65
20	0,98	0,42	8,76	4,02	14,18	77,91

21	0,84	0,29	7,74	3,54	12,41	66,72
22	0,48	0,22	9,24	3,14	13,08	79,76
23	0,67	0,33	7,40	4,00	12,40	53,91
24	0,97	0,22	7,91	3,16	12,26	74,76
25	1,05	0,18	7,84	3,20	12,27	65,97
26	1,01	0,20	7,69	3,10	12,00	65,93
27	1,14	0,19	7,72	3,06	12,11	74,75
28	1,04	0,17	6,34	2,14	9,69	39,39
29	0,84	0,19	7,84	2,16	11,03	60,60
30	0,64	0,11	7,12	3,01	10,88	35,56
31	0,67	0,14	5,12	3,09	9,02	72,74
32	0,84	0,13	4,38	2,13	7,48	32,81
33	0,69	0,19	5,67	1,94	8,49	27,39
34	0,37	0,24	5,39	2,64	8,64	26,83
35	0,64	0,25	7,70	2,68	11,27	104,35
36	0,47	0,18	4,47	2,00	7,12	65,93
37	0,32	0,18	4,31	2,08	6,89	71,77
38	0,64	0,17	4,22	1,84	6,87	74,67
39	1,67	0,25	4,36	1,64	7,92	77,65
40	1,27	0,18	3,62	1,51	6,58	74,77
41	0,64	0,21	3,87	2,04	6,76	73,48
42	0,57	0,23	7,70	1,34	9,84	70,29
43	0,27	0,25	8,27	3,71	12,50	85,62
44	0,32	0,19	5,56	2,24	8,31	56,92
45	0,32	0,16	5,57	1,94	7,99	59,63
46	0,41	0,14	4,34	1,75	6,64	43,68

47	0,28	0,18	4,37	2,23	7,06	55,16
48	0,31	0,10	3,24	1,22	4,87	60,88
49	0,40	0,19	3,27	2,24	6,10	69,32
50	0,37	0,13	7,70	2,29	10,49	119,20
51	0,26	0,11	4,68	1,23	6,28	42,43
52	0,24	0,19	4,21	2,57	7,21	56,33
53	0,45	0,18	3,26	1,67	5,56	40,88
54	0,47	0,17	5,00	1,11	6,75	54,44
55	0,28	0,15	7,71	2,30	10,44	124,29
56	0,28	0,19	5,00	2,37	7,84	70,00
57	0,32	0,15	4,37	2,08	6,92	66,54
58	0,27	0,16	4,20	1,11	5,74	62,39
59	0,32	0,16	3,31	2,08	5,87	37,15
60	0,47	0,15	3,70	1,34	5,66	69,02
61	0,22	0,18	3,72	1,42	5,54	67,56
62	0,41	0,11	3,56	1,28	5,36	67,00
63	0,27	0,07	3,48	1,34	5,16	64,50
64	0,22	0,07	3,10	1,08	4,47	58,82
65	0,22	0,11	3,72	1,42	5,47	66,71
66	0,18	0,13	3,21	1,11	4,63	60,92

Apéndice4. Resultados de los análisis que se hicieron en el laboratorio de suelos de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Machala, 2013

No.	C.I.C	Arena	Limo	Arcilla	Textura	%C.O	M.O %
1	30,0	59,12	32	8,88	franco arenoso	2,20	3,79
2	32,0	61,12	28	10,88	franco arenoso	2,88	4,97
3	26,0	67,12	24	8,88	franco arenoso	3,52	6,07
4	30,0	67,12	28	4,88	franco arenoso	3,96	6,83
5	32,0	59,12	32	8,88	franco arenoso	3,56	6,14
6	29,2	63,12	28	8,88	franco arenoso	2,88	4,97
7	27,4	51,12	38	10,88	franco	2,36	4,07
8	21,0	55,12	36	8,88	franco arenoso	2,84	4,90
9	29,2	63,12	26	10,88	franco arenoso	1,60	2,76
10	25,2	59,12	28	12,88	franco arenoso	2,80	4,83
11	22,2	49,12	30	20,88	Franco	0,60	1,03
12	25,4	53,12	28	18,88	franco arenoso	0,96	1,66
13	19,2	67,12	24	8,88	franco arenoso	1,88	3,24
14	23,8	49,12	30	20,88	franco	0,80	1,38
15	17,8	47,12	38	14,88	franco	0,04	0,07
16	21,2	59,12	30	10,88	franco arenoso	0,84	1,45
17	22,8	53,12	34	12,88	franco arenoso	0,28	0,48
18	24,0	67,12	26	6,88	franco arenoso	0,80	1,38
19	24,2	59,12	34	6,88	franco arenoso	0,92	1,59
20	18,2	45,12	54	0,88	franco limoso	0,52	0,90
21	18,6	49,12	48	2,88	franco arenoso	0,40	0,69
22	16,4	61,12	32	6,88	franco arenoso	0,96	1,66

23	23,0	53,12	38	8,88	franco arenoso	0,36	0,62
24	16,4	65,12	26	8,88	franco arenoso	0,08	0,14
25	18,6	65,12	32	2,88	franco arenoso	0,04	0,07
26	18,2	69,12	28	2,88	franco arenoso	0,16	0,28
27	16,2	73,12	24	2,88	arenoso franco	0,04	0,07
28	24,6	55,12	36	8,88	franco arenoso	2,64	4,55
29	18,2	77,12	20	2,88	arenoso franco	1,76	3,03
30	30,6	75,12	24	0,88	arenoso franco	0,00	0,00
31	12,4	59,12	30	10,88	franco arenoso	1,60	2,76
32	22,8	61,12	38	0,88	franco arenoso	1,28	2,21
33	31,0	57,12	30	12,88	franco arenoso	2,28	3,93
34	32,2	67,12	30	2,88	franco arenoso	0,88	1,52
35	10,8	49,12	38	12,88	franco	1,52	2,62
36	10,8	67,12	22	10,88	franco arenoso	0,76	1,31
37	9,6	65,12	26	8,88	franco arenoso	0,88	1,52
38	9,2	67,12	26	6,88	franco arenoso	0,72	1,24
39	10,2	67,12	24	8,88	franco arenoso	0,64	1,10
40	8,8	61,12	30	8,88	franco arenoso	0,72	1,24
41	9,2	67,12	26	6,88	franco arenoso	0,28	0,48
42	14,0	75,12	22	2,88	arenoso franco	1,32	2,28
43	14,6	69,12	24	6,88	franco arenoso	2,16	3,72
44	14,6	79,12	18	2,88	arenoso franco	2,00	3,45
45	13,4	63,12	30	6,88	franco arenoso	0,72	1,24
46	15,2	63,12	34	2,88	franco arenoso	1,04	1,79
47	12,8	73,12	22	4,88	arenoso franco	0,84	1,45
48	8,0	51,12	48	0,88	franco arenoso	0,12	0,21

49	8,8	43,12	56	0,88	franco limoso	0,04	0,07
50	8,8	51,12	48	0,88	franco arenoso	0,04	0,07
51	14,8	75,12	20	4,88	arenoso franco	0,08	0,14
52	12,8	69,12	26	4,88	franco arenoso	0,36	0,62
53	13,6	63,12	28	8,88	franco arenoso	0,08	0,14
54	12,4	59,12	38	2,88	franco arenoso	0,08	0,14
55	8,4	55,12	30	14,88	franco arenoso	0,12	0,21
56	11,2	55,12	44	0,88	franco arenoso	0,48	0,83
57	10,4	61,12	38	0,88	franco arenoso	0,08	0,14
58	9,2	57,12	42	0,88	franco arenoso	0,28	0,48
59	15,8	57,12	32	10,88	franco arenoso	0,64	1,10
60	8,2	57,12	40	2,88	franco arenoso	0,04	0,07
61	8,2	59,12	40	0,88	franco arenoso	0,04	0,07
62	8,0	57,12	36	6,88	franco arenoso	0,20	0,34
63	8,0	57,12	30	12,88	franco arenoso	0,44	0,76
64	7,6	57,12	40	2,88	franco arenoso	0,32	0,55
65	8,2	67,12	28	4,88	franco arenoso	0,16	0,28
66	7,6	67,12	28	4,88	franco arenoso	0,08	0,14

Apéndice 5. Base de datos interpretada de los elementos en estudio según su análisis y su presencia en el suelo.

No.	pH	N	P	K	CIC	Zn	Cu	Fe	Mn	C.O.%	M.O%	K^{+}	Ca^{++}	Mg^{++}	Na^{+}
1	2	2	5	2	4	1	1	5	5	2	2	1	5	5	2
2	2	2	5	2	4	1	1	5	5	2	3	1	5	5	3
3	2	3	5	2	3	1	1	5	5	2	4	2	5	5	2
4	2	2	5	2	4	2	1	5	5	2	4	2	5	5	2
5	1	2	5	2	4	1	1	5	5	2	4	2	5	5	2
6	2	2	5	2	4	2	1	5	5	2	3	2	5	5	3
7	2	2	5	2	4	2	1	5	2	2	3	2	5	5	2
8	2	3	5	3	3	2	1	5	3	2	3	2	5	5	2
9	2	3	4	2	4	2	1	5	2	1	2	2	5	5	3
10	2	2	3	2	3	2	1	5	2	2	3	2	5	5	2
11	1	2	3	2	3	2	1	5	4	1	1	1	5	5	3
12	2	1	4	2	3	2	1	5	2	1	1	1	5	5	3
13	2	1	5	2	3	2	1	5	2	1	2	1	5	5	3
14	2	1	3	2	3	2	1	5	2	1	1	1	5	5	3
15	2	1	2	2	2	2	1	5	5	1	1	1	5	5	3
16	2	1	2	3	3	2	2	5	4	1	1	2	5	5	3
17	2	1	2	2	3	2	1	5	3	1	1	2	5	5	3
18	2	1	2	4	3	2	5	5	4	1	1	2	5	5	2
19	2	1	2	3	3	2	5	5	5	1	1	2	5	5	2
20	2	1	2	3	3	3	5	5	5	1	1	3	5	5	2
21	2	1	2	3	3	2	4	5	5	1	1	2	4	5	2
22	2	1	3	3	2	2	5	5	3	1	1	2	5	5	1
23	2	1	2	3	3	2	5	5	2	1	1	2	4	5	2

24	2	1	3	3	2	1	4	5	4	1	1	2	4	5	2
25	2	1	3	2	3	1	3	5	3	1	1	1	4	5	2
26	2	1	3	2	3	1	2	5	2	1	1	2	4	5	2
27	3	1	3	2	2	1	1	5	3	1	1	1	4	5	3
28	2	1	3	2	3	1	3	5	4	2	3	1	4	4	2
29	2	1	4	2	3	1	4	5	5	1	2	1	4	4	2
30	2	1	3	2	4	1	2	5	5	1	1	1	4	5	2
31	2	1	3	2	2	1	4	5	3	1	2	1	3	5	2
32	2	1	3	2	3	1	4	5	4	1	2	1	3	4	2
33	2	1	2	2	4	1	5	5	5	2	2	1	3	4	2
34	2	1	2	2	4	1	2	5	4	1	1	2	3	5	1
35	2	1	2	2	2	1	3	5	5	1	2	2	4	5	2
36	2	1	2	2	2	1	4	5	5	1	1	1	3	4	1
37	2	1	2	1	2	1	4	5	5	1	1	1	3	4	1
38	2	1	1	1	2	1	4	5	5	1	1	1	3	3	2
39	2	1	2	1	2	1	3	5	5	1	1	2	3	3	4
40	2	1	2	1	1	1	4	5	5	1	1	1	2	3	3
41	2	1	2	1	2	1	4	5	5	1	1	2	2	4	2
42	2	1	3	1	2	1	5	5	2	1	2	2	4	3	2
43	2	1	4	2	2	1	4	5	3	2	2	2	5	5	1
44	2	1	3	2	2	1	3	5	5	2	2	1	3	4	1
45	2	1	4	1	2	2	4	5	5	1	1	1	3	4	1
46	2	1	2	1	2	1	2	5	2	1	1	1	3	3	1
47	2	1	3	1	2	2	3	5	4	1	1	1	3	4	1
48	2	1	1	1	1	2	1	4	5	1	1	1	2	2	1
49	2	1	2	1	1	2	1	5	5	1	1	1	2	4	1

50	2	1	2	1	1	1	2	5	5	1	1	1	4	4	1
51	2	1	2	1	2	1	2	5	5	1	1	1	3	2	1
52	2	2	1	2	2	2	2	3	5	1	1	1	3	5	1
53	2	1	2	2	2	2	4	4	5	1	1	1	2	3	1
54	2	2	2	2	2	2	2	4	5	1	1	1	3	2	1
55	2	2	3	2	1	1	2	5	5	1	1	1	4	4	1
56	2	2	2	2	2	1	3	5	5	1	1	1	3	4	1
57	2	3	2	2	2	1	2	5	5	1	1	1	3	4	1
58	2	2	2	2	2	1	3	5	5	1	1	1	3	2	1
59	2	2	1	2	2	1	3	5	5	1	1	1	2	4	1
60	2	2	2	2	1	1	2	5	5	1	1	1	2	3	1
61	2	2	2	2	1	1	3	5	5	1	1	1	2	3	1
62	2	3	3	1	1	1	2	5	5	1	1	1	2	2	1
63	2	1	2	1	1	1	2	5	5	1	1	1	2	3	1
64	2	1	3	1	1	1	3	5	5	1	1	1	2	2	1
65	2	2	2	2	1	1	3	5	5	1	1	1	2	3	1
66	2	2	2	2	1	1	4	5	5	1	1	1	2	2	1

Leyenda

1 = Muy bajo

2 = Bajo

3 = Medio

4 = Alto

5 = Muy alto

Apéndice 6. Base de datos para determinación de la fertilidad.

# Muestra	pH	CIC	Bases Totales	% Saturación Bases	CO %	N total %	P ug/ml	Sumatoria	Fertilidad	Interpretación Fertilidad
1	-5,0	20,0	12	17	4	8	4	71	7,1	MODERADA
2	-3,0	20,0	13	18	5	15	5	83	8,3	MODERADA
3	-3,0	16,0	15	20	5	15	3	83	8,3	MODERADA
4	-2,0	20,0	14	20	5	15	1	87	8,7	MODERADA
5	-5,0	20,0	13	17	5	15	2	80	8,0	MODERADA
6	-1,0	19,0	12	17	5	15	1	82	8,2	MODERADA
7	-2,0	17,0	12	17	5	9	6	73	7,3	MODERADA
8	-2,0	11,0	12	20	5	14	-1	75	7,5	MODERADA
9	-2,0	19,0	13	18	3	4	0	70	7,0	MODERADA
10	-5,0	15,0	13	20	5	14	1	77	7,7	MODERADA
11	-5,0	12,0	13	20	-1	-2	15	48	4,8	BAJA
12	-5,0	15,0	12	20	1	0	15	58	5,8	BAJA
13	-3,0	9,0	12	20	4	5	3	62	6,2	MODERADA

14	-2,0	14,0	11	19	0	-1	15	52	5,2	BAJA
15	-2,0	9,0	11	20	-3	-5	15	35	3,5	BAJA
16	-2,0	11,0	12	20	0	-1	15	47	4,7	BAJA
17	-3,0	13,0	12	20	-2	-5	15	40	4,0	BAJA
18	-3,0	14,0	11	19	0	-1	15	45	4,5	BAJA
19	-5,0	14,0	12	19	0	0	15	43	4,3	BAJA
20	-4,0	9,0	12	20	-1	-3	14	38	3,8	BAJA
21	-1,0	9,0	11	20	-2	-4	14	40	4,0	BAJA
22	0,0	8,0	11	20	1	0	6	50	5,0	BAJA
23	-1,0	13,0	11	18	-2	-4	5	42	4,2	BAJA
24	2,0	8,0	11	20	-3	-5	3	46	4,6	BAJA
25	3,0	9,0	11	20	-3	-5	4	46	4,6	BAJA
26	3,0	9,0	11	20	-3	-5	2	45	4,5	BAJA
27	4,0	8,0	11	20	-3	-5	4	50	5,0	BAJA
28	1,0	15,0	9	13	5	13	15	69	6,9	MODERADA
29	1,0	9,0	10	20	3	5	15	63	6,3	MODERADA

30	-2,0	20,0	10	12	-3	-5	15	45	4,5	BAJA
31	0,0	6,0	9	20	3	4	6	52	5,2	BAJA
32	-3,0	13,0	7	11	2	1	5	39	3,9	BAJA
33	-4,0	20,0	8	9	5	10	1	55	5,5	BAJA
34	1,0	20,0	8	8	1	0	1	45	4,5	BAJA
35	-3,0	5,0	10	20	3	3	1	43	4,3	BAJA
36	-1,0	5,0	7	20	0	-1	0	33	3,3	BAJA
37	-1,0	5,0	6	20	1	0	5	34	3,4	BAJA
38	-2,0	4,0	6	20	0	-2	15	28	2,8	MUY BAJA
39	-2,0	5,0	7	20	0	-2	15	33	3,3	BAJA
40	-1,0	4,0	6	20	0	-2	0	30	3,0	BAJA
41	-2,0	4,0	6	20	-2	-4	11	29	2,9	MUY BAJA
42	-3,0	7,0	9	20	3	1	9	45	4,5	BAJA
43	-1,0	7,0	11	20	4	8	15	64	6,4	MODERADA
44	0,0	7,0	8	19	4	6	14	57	5,7	BAJA
45	-2,0	6,0	7	20	0	-2	9	44	4,4	BAJA

46	-1,0	7,0	6	14	1	0	10	30	3,0	BAJA
47	0,0	6,0	7	19	1	-1	5	40	4,0	BAJA
48	-1,0	4,0	4	20	-3	-5	-1	21	2,1	MUY BAJA
49	-1,0	4,0	6	20	-3	-5	1	26	2,6	MUY BAJA
50	0,0	4,0	10	20	-3	-5	13	29	2,9	MUY BAJA
51	-1,0	7,0	6	14	-3	-5	15	21	2,1	MUY BAJA
52	-2,0	6,0	7	19	-2	-4	8	26	2,6	MUY BAJA
53	-3,0	7,0	5	13	-3	-5	9	19	1,9	MUY BAJA
54	-4,0	6,0	6	18	-3	-5	4	25	2,5	MUY BAJA
55	-5,0	4,0	10	20	-3	-5	3	29	2,9	MUY BAJA
56	-2,0	5,0	7	20	-1	-3	1	32	3,2	BAJA
57	-2,0	5,0	6	20	-3	-5	3	27	2,7	MUY BAJA
58	-1,0	4,0	5	20	-3	-4	4	24	2,4	MUY BAJA
59	-1,0	8,0	5	12	0	-2	15	24	2,4	MUY BAJA
60	-2,0	4,0	5	20	-3	-5	15	24	2,4	MUY BAJA
61	-1,0	4,0	5	20	-3	-5	3	25	2,5	MUY BAJA

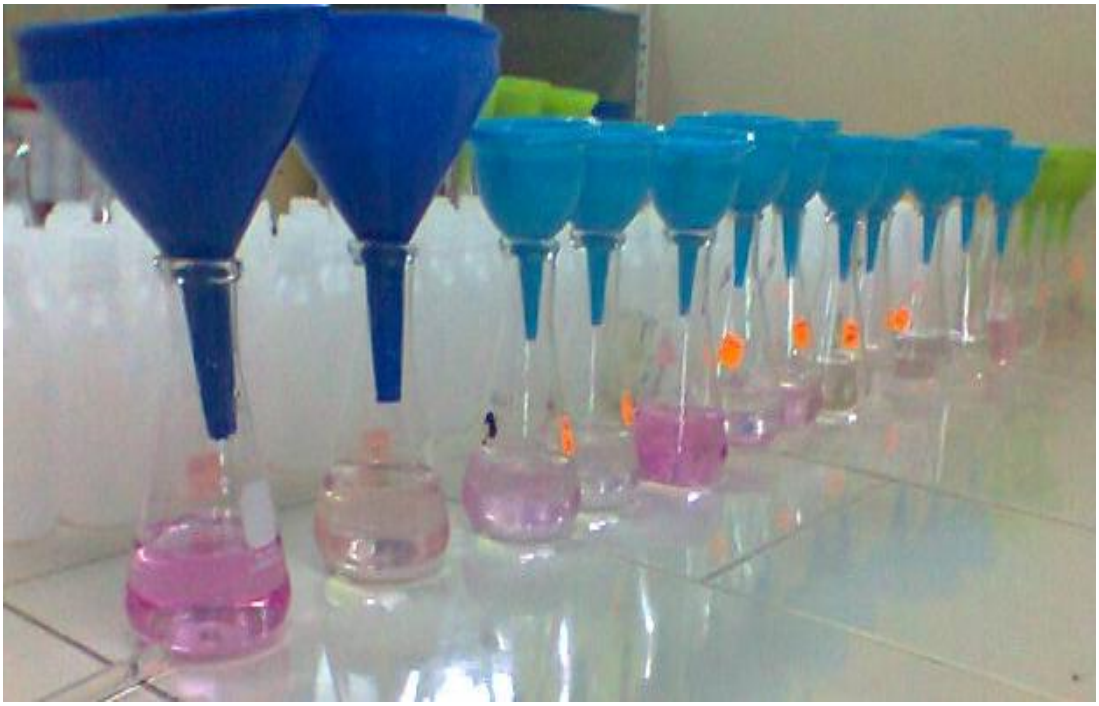
62	-2,0	4,0	5	20	-2	-4	3	34	3,4	BAJA
63	-3,0	4,0	5	20	-1	-3	4	29	2,9	MUY BAJA
64	-4,0	4,0	4	20	-2	-4	4	26	2,6	MUY BAJA
65	-4,0	4,0	5	20	-3	-5	3	24	2,4	MUY BAJA
66	-3,0	4,0	4	20	-3	-5	4	22	2,2	MUY BAJA

PUNTAJE Suma Puntos	-5 a 1	3 a 5	6 a 8	9 a 10	> 10
10 Apreciación	Muy Baja	Baja	Moderada	Moderadamente Alta	Alta

FUENTE: Instituto Geográfico "Agustín Codazzy". Bogotá – Colombia, 1979

Apéndice 7. Imagen de la determinación de capacidad de intercambio catiónico

Apéndice 8. Imagen de la determinación de capacidad de intercambio catiónico



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

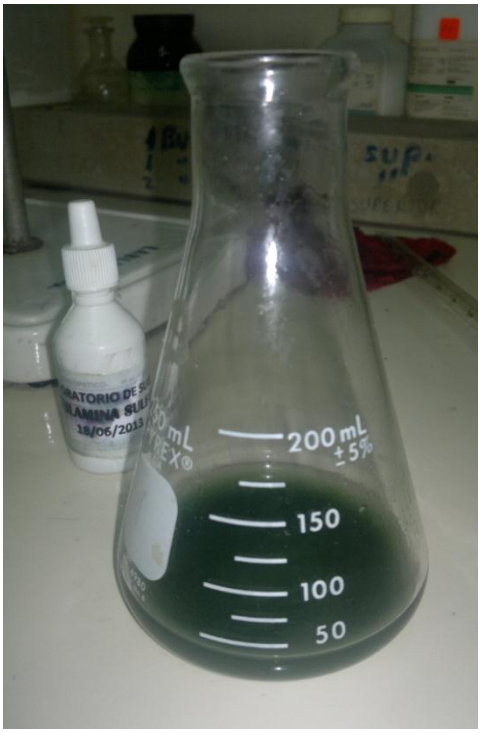
Apéndice 10. Imagen del análisis mecánico del suelo

Apéndice 11. Imagen del análisis mecánico del suelo

Apéndice 12. Imagen del análisis mecánico del suelo

Apéndice 13. Imagen de la determinación de materia orgánica

Apéndice 14. Imagen de la determinación de materia orgánica



Apéndice 15. Imagen de la determinación de materia orgánica

Apéndice 16. Imagen de la determinación de materia orgánica