



Universidad de Carabobo
Facultad Experimental de Ciencias y Tecnología
Departamento de Química



DETERMINACIÓN DEL IMPACTO DE LA ACTIVIDAD METALÚRGICA SOBRE PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL SUELO

Tutor:

Prof. Arnaldo Armado

Elaborado por:

Br. Diana Duran

C.I.:18167070

Valencia, Octubre de 2011

Dedicatoria

A mis Padres, pero especialmente a mi Madre que ha estado conmigo en todo momento.

Agradecimientos

Primeramente a Dios que me ha guiado por este camino y que con su amor me ha permitido aprender y madurar durante este trayecto, haciéndome la mujer que soy actualmente.

A mi Madre Beatriz que siempre ha estado con mígo en los buenos y en los peores momentos, que en su perfeccionismo me ha estimulando a ser una mejor persona y a lograr mis metas cuando no creía en mí misma. ¡Te amo Mamá!

A mi padre Mario que me proporciono toda la ayuda para la realización de este proyecto y siempre estuvo dispuesto a que este se llevara a cabo. ¡Gracias por apoyarme, gracias por creer en mí, gracias por creer en esto, aquí está el fruto del esfuerzo... lo Logramos!

Al profesor Arnaldo Armado quien siempre estuvo muy abierto a las posibilidades, que me guió en todo este trayecto, quien se esforzó junto a mí para que esto se llevara a cabo, quien a demás me proporciono todas las herramientas y el conocimiento para finalizar esta meta... que a demás de profesor es un gran amigo... ¡Muchas Gracias!

A la Ilustre Universidad de Carabobo por proporcionarme la posibilidad de recibir mi Título de Grado, y la Facultad Experimental de Ciencias y Tecnología, lugar he adquirido los mayores conocimientos acerca de mi profesión y de la vida, donde fui recibida con los brazos abiertos por muchas personas que ahora ocupan un lugar importante en mí corazón y donde finalice mi adolescencia y he definido mi personalidad.

Al Consejo de Desarrollo científico y Humanístico de la Universidad de Carabobo (CDCH-UC) que financió el proyecto de investigación N° 2010-005 y a la Cooperativa Aceros Moldeados Tinaquillo RL. Quienes concedieron el permiso para la realización de este trabajo. A las personas que estuvieron junto a mí durante el desarrollo de este trabajo ayudándome o guiándome: Sikleb, Beatriz, Dioleydis, Víctor, Lesbia... ¡Muchas Gracias!

A mis mejores amigos de la Facultad de Química: Natacha y Génesis muchas gracias por apoyarme, por estar dispuestas ayudarme, por escuchar mis tristezas y compartir mis alegrías, por apreciarme sin juzgarme y por hablarme con la verdad aun cuando yo no estaba de acuerdo, por las infinitas mañanas y tardes de estudio, por los momentos de celebración, por los momentos de ocio, pero sobre todo... por su amistad... porque cuando las cosas se hacían cuesta arriba ustedes estaban ahí acompañándome y alentándome a seguir adelante... ¡Gracias Chicas!

A Rodolfo que me ha escuchado en los momentos en los que no he querido hablar con nadie, que siempre ha brindado momentos de luz y alegría con su personalidad y que estuvo abierto antes que nadie más, a conocerme y ser mi amigo... gracias por darme la bienvenida a la facultad y a esta etapa de la vida.. Que sí bien tuvo sus altos y bajos, sus alegrías y sin sabores, errores y aprendizaje... formas parte de ella y me siento feliz de que así sea... ¡Muchas gracias!

Mis amigos del inicio de carrera Karmary, Eduardo, Génesis... junto a ustedes pase los momentos más divertidos, aprendí muchas cosas que ayudaron a forjar mi personalidad, y viví al máximo el significado de la palabra compañerismo.

A mis Familiares que siempre compartieron conmigo mis éxitos, especialmente a mi hermano Mario que ha celebrado conmigo mis triunfos y que me ha soportado en mis peores momentos... ¡Te quiero mucho hermano! A mi hermanita de corazón Kathy que siempre ha estado al pendiente de mí y con quien he compartido gran parte de mi vida... ¡Te Quiero Mucho Hermanita!

A Bibí que es casi como mi hija y quizás sea absurdo incluir a una mascota... pero ella ha estado siempre a mi lado, esperándome y demostrándome su cariño y fidelidad, permaneciendo apaciblemente a mi lado mientras yo disfruto aun más de su compañía, su lenguaje y sus ocurrencias.

Pero ella no estaría a mi lado si no fuera por una persona que ha sido importante en mi vida, hemos compartido infinitudes de cosas infinitudes de momentos, los aspectos más recónditos de nuestras personalidades, las tristezas, las alegrías, momentos muy duros y difíciles, momentos maravillosos... Tu que has estado dispuesto ayudarme, dispuesto a entregarme todo lo que yo quisiera, que ha estado ahí cuando nadie más ha podido estar... incluso hasta en nuestras equivocaciones. Lo cierto es que aunque no sepa que pasará después agradezco a Dios de que hayas aparecido en mi vida y conocer esas personas maravillosas que conforman tu familia... haber compartido todos esos momentos que hoy forman parte de mis más preciados recuerdos y mis más difíciles pero importantes aprendizajes. Solo espero que me permitas seguir compartiendo contigo... Ismael gracias por tropezar tu mirada conmigo en ese autobús y por entrar en mi vida.



Universidad de Carabobo
Facultad Experimental de Ciencias y Tecnología
Departamento de Química



Trabajo Especial de Grado

DETERMINACIÓN DEL IMPACTO DE LA ACTIVIDAD METALÚRGICA SOBRE PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL SUELO

Br. Diana Duran

RESUMEN

La interacción de los residuos de la actividad metalúrgica con el suelo, origina cambios en sus propiedades físicas y químicas. El objetivo de este trabajo fue determinar el impacto de la industria metalúrgica sobre algunas propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo de una empresa dedicada a la fundición y moldeo de diferentes tipos de acero. Se seleccionaron diez muestras de nueve zonas afectadas de diferente manera por la disposición de los residuos industriales, y una zona control no afectada dentro de las delimitaciones de la empresa. Se determinaron indicadores físicos, químicos y biológicos. La disposición de los residuos alteró la textura del suelo, modificándola de franco arcillosa a franco arenosa, mostrando intervalos de humedad de 9,59 – 26,78% y de retención de humedad de 19,75 – 44,76%. El pH (1:2) se modificó significativamente al aumentar la distancia entre las secciones evaluadas y la industria (7,53-9,67), afectado por el aumento significativo de la concentración de sodio que originó una variación en la capacidad de intercambio catiónico (3,76 -15,37 cmol/ Kg suelo). Los valores de conductividad eléctrica fueron bajos (78.80 - 294.67 $\mu\text{S cm}$), y el porcentaje de carbono orgánico total varió significativamente (0,41-1,41%), influenciado principalmente por la disgregación de la materia orgánica. Aunque algunas secciones muestran variaciones en algunas de las propiedades biológicas, por condiciones específicas, los valores de respiración basal promedio (6,34 –10,38 mg CO_2/Kg suelo), actividad ureásica (1,54-24,61 $\mu\text{g N-NH}_4/\text{g}$ suelo*h) y biomasa microbiana determinada por el método de respiración inducida por sustrato (1,36-22,78 mg C/ Kg suelo), no muestran diferencia significativa con el control a medida que varía la distancia entre secciones y la empresa; y son bajos en comparación con otros estudios. Debido a la variación de las propiedades físicas y químicas, es necesario aplicar un tratamiento al suelo para mejorar sus propiedades y así evitar la salinización y desertificación. Adicionalmente se recomienda reducir el volumen de desechos reutilizándolos en nuevos procesos.



Universidad de Carabobo
Facultad Experimental de Ciencias y Tecnología
Departamento de Química



DETERMINATION OF THE METALLURGICAL ACTIVITY IMPACT ON SOME PHYSICAL, CHEMICAL AND BIOLOGICAL PROPERTIES OF SOIL

Br. Diana Duran

ABSTRACT

The interaction of metallurgical activity waste with soil, leads to changes in its physical and chemical properties. The main objective of this research work was to determine the impact of the metallurgical industry on some physical, chemical and biological soil properties of a steel smelting and casting company. Ten samples were selected from nine sections soil differently affected by the industrial waste arrangement, and an unaffected control area inside of company boundaries. Some physical, chemical and biological indicators were determined. The metallurgy activity waste altered soil texture, modifying it from a clay loam to sandy loam, resulting moisture values ranging from 9.59 to 26.78% and moisture retention values ranging from 19.75 to 44.76%. The pH (1:2) change significantly with increasing distance between the sections evaluated and industry (9.67 to 7.53), affected by the significant increase in sodium concentration, resulting a variation of the cation exchange capacity (3.76 to 15.37 cmol.kg soil⁻¹). The electric conductivity varied with distance (78.80 to 294.67 $\mu\text{S.cm}^{-1}$) and total organic carbon varied significantly (from 0.41 to 1.41%), mainly influenced by the organic matter disaggregation. Although some sections show variations in some of the biological properties by specific conditions, the average values of basal respiration (6.34 to 10.38 mg CO₂.kg soil⁻¹), urease activity (1.54 to 24.61 $\mu\text{g N-NH}_4\text{.Kg soil}^{-1}\text{.h}^{-1}$) and microbial biomass determined by substrate induced respiration method (1.36 to 22.78 mg C.kg soil⁻¹); are lower than other studies; however, not show significant differences relative to the control, when increase the distance between sections and the company. Due to the variation of physical and chemical properties, treatment must be applied to soil to improve their properties and prevent salinization and desertification. Additionally it is recommended to reduce the amount of metallurgical waste, reusing them in new processes.



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
Introducción	1
 CAPITULO I	
El Problema	
I.1. Planteamiento de Problema.....	2
I.2. Objetivos de la Investigación.....	4
I.2.1. Objetivo General.....	4
I.2.2. Objetivos Específicos.....	4
I.3. Justificación.....	5
I.4. Delimitación.....	6
 CAPITULO II	
Marco Teórico	
II. 1. Reseña Histórica.....	8
II. 2. Antecedentes.....	9
II.3. Bases Teóricas.....	11
II.3.1. Impacto ambiental del suelo.....	11
II.3.2. Indicadores de la calidad del suelo.....	11
II.3.2.1. Indicadores Físicos.....	12



II.3.2.1.1. Humedad.....	12
II.3.2.1.2. Capacidad de Retención de Humedad.....	13
II.3.2.1.3. Textura.....	13
II.3.2.2. Indicadores Químicos.....	13
II.3.2.2.1. Reacción del suelo.....	14
II.3.2.2.2. Intercambio Iónico.....	15
II.3.2.2.3. Conductividad Eléctrica.....	15
II.3.2.2.4. Materia Orgánica.....	16
II.3.2.2.5. Carbono Total.....	16
II.3.2.3. Indicadores Biológicos.....	16
II.3.2.3.1. Respiración del Suelo.....	17
II.3.2.3.2. Actividad Ureásica.....	18
II.3.2.3.3. Biomasa Microbiana.....	18
II.3.2.3.3.1. Respiración Inducida por Sustrato (RIS).....	19

CAPITULO III

Marco Metodológico

III.1. Diseño de Experimental.....	20
III.2. Población y Muestra.....	21
III.3. Técnica de Recolección de Datos.....	24
III.3.1. Indicadores Físicos.....	25



III.3.1.1. Humedad.....	25
III.3.1.2. Capacidad de Retención de Humedad.....	25
III.3.1.3. Textura.....	25
III.3.2. Indicadores Químicos.....	26
III.3.2.1. Reacción del suelo.....	26
III.3.2.2. Intercambio Iónico.....	27
III.3.2.2.1. Capacidad de Intercambio Catiónico.....	28
III.3.2.3. Conductividad Eléctrica.....	30
III.3.2.4. Materia Orgánica (Carbono Orgánico Total).....	31
III.3.3. Indicadores Biológicos.....	33
III.3.3.1. Respiración del Suelo.....	33
III.3.3.2. Actividad Ureásica.....	34
III.3.3.3. Biomasa Microbiana (RIS).....	37
III.3.4. Coeficiente de Correlación de Pearson.....	38
III.3.5. Análisis Estadístico empleando Staticgraphic Plus.....	39

CAPITULO IV

Análisis de Resultados

IV.1. Indicadores Físicos.....	40
IV.2. Indicadores Químicos.....	45
IV.3. Indicadores Biológicos.....	55
IV.4. Correlación de Pearson.....	66



IV.5. Leyes y Reglamentos Ambientales.....	67
--	----

CAPITULO V

Conclusiones y Recomendaciones

V.1. Conclusiones.....	69
------------------------	----

V.2. Recomendaciones.....	70
---------------------------	----

BIBLIOGRAFIA.....	71
--------------------------	-----------

APÉNDICES

Apéndice A. Determinación del porcentaje de humedad y la capacidad de retención de humedad.....	79
--	----

Apéndice B. Determinación de la Conductividad Eléctrica.....	80
---	----

Apéndice C. Datos para la determinación del porcentaje de de material orgánica total.....	80
--	----

Apéndice D. Datos para la determinación de la Capacidad de Intercambio Catiónico.....	82
--	----

Apéndice E. Datos para la Determinación de la Respiración Basal.....	85
---	----

Apéndice F. Datos para la determinación de la Actividad Ureásica.....	86
--	----

Apéndice G. Datos para la determinación de la Biomasa Microbiana.....	88
--	----

Apéndice H. Análisis Estadístico de la Humedad empleando Statgraphic Plus.....	89
---	----

Apéndice I. Análisis Estadístico de la Capacidad de Retención de Humedad empleando Statgraphic Plus.....	89
---	----



Apéndice J. Análisis Estadístico del pH empleando Statgraphic Plus.....	90
Apéndice K. Análisis Estadístico de la CIC empleando Statgraphic Plus.....	91
Apéndice L. Análisis estadístico de la concentración de las bases intercambiables empleando Statgraphic Plus.....	92
Apéndice M. Análisis Estadístico del % COT empleando Statgraphic Plus.....	95
Apéndice N. Análisis Estadístico para la Respiración Basal Promedio empleando Statgraphic Plus.....	96
Apéndice O. Análisis Estadístico para la Actividad Ureásica empleando Statgraphic Plus.....	96
Apéndice P. Análisis Estadístico para la Biomasa Microbiana empleando Statgraphic Plus.....	97
Apéndice Q. Análisis estadístico para el Coeficiente metabólico (qCO_2) empleando Statgraphic Plus.....	98
ANEXOS	99



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de la Textura del Suelo.....	26
Tabla 2. Determinación cualitativa de la textura del suelo.....	42
Tabla 3. Reacción del suelo determinadas por diferentes metodologías.....	45
Tabla 4. Clasificación de los suelos según su pH.....	47
Tabla 5. Comparación de los valores de pH, C orgánico, Respiración y Actividad Ureásica con otros autores.....	48
Tabla 6. Coeficiente de Correlación de Pearson.....	66
Tabla 7. Datos para la determinación del porcentaje de humedad.....	79
Tabla 8. Datos para la determinación del porcentaje de Retención de Humedad.....	79
Tabla 9. Datos para la determinación de la conductividad eléctrica.....	80
Tabla 10. Determinación del porcentaje de materia orgánica total del suelo.....	80
Tabla 11. Datos de la curva de calibración para la determinación de carbono total por el método de Walkey & Black.....	82
Tabla 12. Datos para la determinación de la Capacidad de intercambio catiónico.....	82
Tabla 13. Resultados para la determinación de las bases intercambiables.....	83



Tabla 14. Datos para la curva de calibración de Potasio.....	83
Tabla 15. Datos para la curva de calibración de Sodio.....	84
Tabla 16. Datos para determinación de la Respiración Basal Promedio	85
Tabla 17. Respiración Basal Acumulativa.....	85
Tabla 18. Determinación de la Actividad Ureásica.....	86
Tabla 19. Datos para la Curva de Calibración de la Actividad Ureásica.	87
Tabla 20. Determinación de la biomasa microbiana.....	88
Tabla 21. Análisis de Varianza para la Humedad.....	88
Tabla 22. Análisis de Varianza para la Capacidad de Retención de Humedad.....	89
Tabla 23. Tabla de Análisis de Varianza para el pH.....	90
Tabla 24. Contraste Múltiple de Rango para el pH.....	90
Tabla 25. Análisis de Varianza para la CIC.....	91
Tabla 26. Contraste Múltiple de Rango para la CIC.....	92
Tabla 27. Análisis de Varianza para las bases intercambiables.....	92
Tabla 28. Contraste Múltiple de Rango para las bases intercambiables	93
Tabla 29. Análisis de Varianza para el sodio.....	94
Tabla 30. Contraste Múltiple de Rango para el sodio.....	94
Tabla 31. Análisis de Varianza para %COT.....	95
Tabla 32. Contraste Múltiple de Rango para %COT.....	95
Tabla 33. Análisis de Varianza para la respiración basal promedio.....	96
Tabla 34. Análisis de Varianza para la Actividad Ureásica.....	97



Tabla 35. Análisis de Varianza para la Biomasa Microbiana.....	97
Tabla 36. Datos para la Determinación del coeficiente Metabólico.....	98
Tabla 37. Análisis de Varianza para el coeficiente metabólico.....	98

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Muestreo aleatorio estratificado en la zona delimitada de estudio.....</i>	23
Figura 2. <i>pH-metro marca OAKTON modelo p510.....</i>	27
Figura 3. <i>Centrifuga marca ORTO-ALREASA, modelo Digitor.....</i>	28
Figura 4. <i>Espectrofotómetro de Absorción Atómica GBC-932.....</i>	29
Figura 5. <i>Conductímetro marca HANNA modelo E215.....</i>	30
Figura 6. <i>Agitador Orbital marca BUNSEN.....</i>	31
Figura 7. <i>Coloración de muestras de suelo sometidas al método de Walkey y Black modificado.....</i>	31
Figura 8. <i>Espectrofotómetro marca UNICO modelo 1100RS.....</i>	32
Figura 9. <i>Baño termostático COLE-PARMER.....</i>	34
Figura 10. <i>Curva de calibración para la determinación de la actividad enzimática.....</i>	35
Figura 11. <i>Reacción de la hidrólisis de la urea.....</i>	36
Figura 12. <i>Contenido de humedad del suelo.....</i>	41



Figura 13. <i>Capacidad de Retención de humedad en el suelo seco.....</i>	43
Figura 14. <i>Capacidad de Intercambio Catiónico.....</i>	49
Figura 15. <i>Bases totales (Na^+, K^+, Ca^{+2} y Mg^{+2}).....</i>	51
Figura 16. <i>Concentración de sodio en el suelo.....</i>	52
Figura 17. <i>Conductividad Eléctrica.....</i>	53
Figura 18. <i>Porcentaje de Materia Orgánica Total (%MOT). Considerando que la materia orgánica es un 58% del COT.....</i>	54
Figura 19. <i>Respiración Basal Sección 1 (Más cercana a la zona de actividad metalúrgica). Apéndice C.....</i>	55
Figura 20. <i>Respiración Basal Sección 2 (Distancia intermedia a la zona de actividad metalúrgica). Apéndice C.....</i>	56
Figura 21. <i>Respiración Basal Sección 3 (Más lejana a la zona de actividad metalúrgica). Apéndice C.....</i>	57
Figura 22. <i>Respiración Basal Promedio.....</i>	58
Figura 23. <i>Actividad Ureásica.....</i>	59
Figura 24. <i>Biomasa Microbiana.....</i>	62
Figura 25. <i>Coeficiente metabólico ($q\text{CO}_2$).....</i>	65
Figura 26. <i>Curva de Calibración para la determinación del carbono total por el método de Walkey & Black.....</i>	81
Figura 27. <i>Curva de Calibración para la determinación de la concentración de potasio por emisión atómica.....</i>	83
Figura 28. <i>Curva de Calibración para la determinación de la</i>	



<i>concentración de sodio por emisión atómica.....</i>	84
Figura 29. <i>Curva de Calibración ara la determinación de la Actividad Ureásica.....</i>	87
Figura 30. <i>Diagrama de Cajas y Bigotes para la Humedad.....</i>	88
Figura 31. <i>Diagrama de Cajas y Bigotes para la Capacidad de Retención de Humedad.....</i>	89
Figura 32. <i>Diagrama de Cajas y bigotes para el pH.....</i>	90
Figura 33. <i>Diagrama de Cajas y Bigotes para la CIC.....</i>	91
Figura 34. <i>Diagrama de Cajas y Bigotes para las bases intercambiables.....</i>	92
Figura 35. <i>Diagrama de Cajas y Bigotes para el sodio.....</i>	93
Figura 36. <i>Diagrama de Cajas y Bigotes para %COT.....</i>	95
Figura 37. <i>Diagrama de Cajas y Bigotes para la respiración basal promedio.....</i>	96
Figura 38. <i>Diagrama de Cajas y Bigotes para la Actividad Ureásica.....</i>	96
Figura 39. <i>Diagrama de Cajas y Bigotes para la Biomasa Microbiana....</i>	97
Figura 40. <i>Diagrama de Cajas y Bigotes para el coeficiente metabólico.</i>	98
Figura 41. <i>Terreno de la empresa dispuesto para la ubicación de la escoria, arena de sílice, restos de moldes, chatarra, ladrillos refractarios.....</i>	99
Figura 42. <i>Punto de Muestro de la sección 1A.....</i>	99
Figura 43. <i>Muestra de la sección 3C.....</i>	100
Figura 44. <i>Estancamiento de agua por baja permeabilidad del sector....</i>	100



INTRODUCCIÓN

El suelo es un elemento ambiental de gran importancia que muchas veces es ignorado, y que involucra un delicado equilibrio químico-biológico que determina sus propiedades y la sustentabilidad de las diferentes actividades que se realicen en el mismo. La industria metalúrgica provee un impacto positivo sobre la economía del sector donde se desarrolle, pero a su vez las actividades desarrolladas por esta son un factor de alta contaminación para el aire, agua y suelos.

En el presente trabajo de investigación se plantea el impacto de la industria metalúrgica, como variable de estudio, sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. El objetivo principal se llevó a cabo a través de la determinación de indicadores físicos, como la humedad, la textura y la capacidad de campo; indicadores químicos como el pH, la conductividad eléctrica, capacidad de intercambio catiónico, y materia orgánica total; y además se incluyen indicadores biológicos como la respiración del suelo, la actividad ureásica y la biomasa microbiana.

El área objeto de estudio está delimitada dentro de una industria de fundición de aceros, cuya actividad se realizó por un periodo de 22 años; y el impacto en el suelo fue ocasionado por la deposición de residuos metalúrgicos como escoria y arena de sílice, que contiene una algunos de metales pesados y sales inorgánicas que pueden afectar las condiciones originales de suelo.

En vista de lo anteriormente mencionado, se determinaron algunos indicadores físicos, químicos y biológicos, para evaluar el estado actual del suelo afectado por la actividad metalúrgica; y de esta manera se puede decidir sobre el futuro manejo sustentable del suelo.



CAPITULO I

EL PROBLEMA

I.1. Planteamiento del Problema

El crecimiento de la población mundial y el desarrollo de las diversas actividades económicas realizadas por el hombre a través del tiempo, han tenido un impacto significativo en el ambiente de todas las maneras posibles. La contaminación de los diversos recursos naturales conlleva al desarrollo de actividades menos agresivas con el ambiente, así como la obtención de posibles soluciones para remediar el daño inminente ocasionado por los seres humanos.

Los efectos de la contaminación pueden ser significativos o no dependiendo del caso, y sus consecuencias pueden ser a corto o largo plazo. Ninguna variable es suficientemente pequeña, ni puede ser descartada, en un sistema que depende de un delicado equilibrio de todos sus componentes, incluyendo seres vivos tan pequeños como los microorganismos. Estos cumplen una función vital en muchos ambientes, entre los cuales se encuentra el suelo.

El suelo es parte fundamental del ambiente, aunque muchas veces es olvidado. El suelo sirve de soporte y provee los elementos necesarios a las plantas para su adecuado desarrollo, que a su vez benefician a los demás seres vivos a través de la producción de oxígeno y alimentos. Debido a la gran extensión de terreno evidente, existe la falsa creencia de que la contaminación no influye significativamente, pero el uso indebido afecta la fertilidad, provocando incluso pérdida de la actividad biológica de los mismos.

Los microorganismos cumplen una función importante en la descomposición de la materia orgánica y en el ciclo de los nutrientes del suelo (Innyeperumal & Shy, 2007), además son un indicador clave en los



cambios del suelo, así como en la calidad ambiental de los mismos (Hartmann, 2006); en adición al pH, conductividad, materia orgánica, entre otros.

La elección de un área para el establecimiento de una zona industrial implica la consideración de las consecuencias y el posible impacto para el ambiente, pero por razones económicas de orden global, a veces las industrias finalizan sus funciones ocasionando la inutilización de un terreno. Muchas zonas de gran fertilidad han sido ocupadas por las industrias, por su conveniente ubicación geográfica, pero se cuestiona si el impacto industrial es tan significativo; que implique la destrucción de la actividad biológica del suelo.

La industria acerera provee un impacto positivo en la economía de una región, pero es una de las industrias más contaminantes debido al exceso de exposición ambiental. Emisiones atmosféricas, descargas de efluentes y contaminación del suelo y aguas subterráneas, son algunas de las consecuencias. La industria acerera genera en promedio 0,55 kg de desechos sólidos por cada kg de acero producido (Castells, 2000).

Entre los desechos producidos se encuentra principalmente arena de sílice (silicato de sodio), restos de moldes de fundición, residuos fosfatados y la escoria, la cual se compone principalmente de SiO_2 , Al_2O_3 , CaO y MgO ; además de algunos metales como el Fe, Cr, Ni, Zn, Pb, Cu, dependiendo del tipo de acero fabricado. La escoria es un residuo voluminoso, el cual es dispuesto en el suelo hasta que sea transportado para su reutilización o eliminación.

Las escorias procedentes del alto horno se han generado a $1600\text{ }^\circ\text{C}$, por lo que al ser líquidas su posterior estructura cristalina/ amorfa, dependerá del proceso de enfriamiento. Si este es rápido, la estructura queda colapsada y es mayoritariamente amorfa, y sus propiedades serán la de un material



altamente reaccionable y en función de su tamaño de grano y superficie específica, poseerá propiedades puzolánicas¹ notables (Castells, 2000).

Los desechos dispuestos al aire libre están en contacto con las diferentes condiciones ambientales, como la lluvia, lo que puede ocasionar lixiviaciones y contaminar los suelos y aguas subterráneas. Al existir la presencia de los contaminantes en el suelo es posible la existencia del impacto sobre la población de microorganismos presentes en el terreno.

El efecto de la contaminación de la industria metalúrgica por un periodo de 22 años en una zona delimitada, puede afectar considerablemente las propiedades fisicoquímicas y la actividad de los microorganismos del suelo. Pero aun después de 8 años de inactividad manufacturera el impacto ambiental es desconocido.

En función a lo anteriormente expuesto se planteó el presente trabajo de investigación donde se estudia la influencia sobre las características físicas, químicas y biológicas del suelo, y la capacidad de adaptación de la naturaleza a las condiciones generadas por la actividad de la industria dedicada a la fundición de aceros.

I.2. Objetivos de la Investigación

I.2.1. Objetivo General

Determinar el impacto generado por la industria metalúrgica, sobre algunas de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

I.2.2. Objetivos Específicos

¹ De la puzolana. La puzolana es un material silíceo o alumino-silíceo a partir de los cuales se producía históricamente el cemento.



1. Determinar las propiedades físicas (textura, humedad y capacidad de retención de humedad) del suelo impactado por la actividad de la industria acerera y el suelo control.
2. Determinar las propiedades químicas (pH, capacidad de intercambio catiónico, conductividad eléctrica y carbono total) del suelo impactado y no impactado.
3. Determinar la respiración del suelo como indicador biológico del ciclo del carbono.
4. Determinar la actividad de la ureasa, como indicador biológico del ciclo del nitrógeno.
5. Determinar la biomasa microbiana del suelo, empleando el método de respiración inducida por sustrato.
6. Analizar el efecto de la actividad metalúrgica a través de los valores obtenidos de las propiedades físicas, químicas y los parámetros biológicos obtenidos en las muestras de suelo.

I.3. Justificación

El análisis de las condiciones del suelo después de un impacto industrial en el ecosistema, proporciona una respuesta sobre las condiciones reales de las propiedades fisicoquímicas del mismo, así como la actividad de los microorganismos presentes; posteriores a la contaminación a la que ha sido sometido y sin emplearse algún método de remediación para la obtención de las condiciones originales.

La industria metalúrgica es ciertamente una de las menos limpias, pero al analizar el impacto de la contaminación sobre las especies presentes; se obtendrá un conocimiento real sobre el efecto de la lixiviación de metales pesados en el suelo y su impacto sobre los microorganismos. Si el espacio vuelve a ser utilizado nuevamente para la actividad metalúrgica, se



proporcionan antecedentes para llevar a cabo un proyecto que limite o disminuya los posibles efectos de la contaminación por dicha acción.

Al existir una zona residencial cercana al área empresarial es posible que se reconsidere el funcionamiento de esta industria dentro de este sector, por lo cual habrá la posibilidad de realizar otra actividad. Los resultados permiten obtener las condiciones actuales de la extensión de terreno, con la posibilidad de aplicar la remediación y acondicionarlo para el desarrollo de otra actividad en caso de que sea necesario.

El estudio de la contaminación del suelo resulta de gran interés, ya que se observa la capacidad de adaptación del mismo ante este hecho. Es de conocimiento que los microorganismos presentes en el suelo se ven afectados por la contaminación con metales pesados, pero con este proyecto se pretende estudiar si existe la posibilidad de que el suelo posea las condiciones necesarias para recuperarse de los efectos de la contaminación después de casi una década sin el desarrollo de la actividad metalúrgica.

El estudio de los suelos a nivel biológico no es ampliamente utilizado en el país, suelen considerarse únicamente propiedades fisicoquímicas como indicadores de calidad del suelo. Siendo los microorganismos tan importantes en descomposición de la materia orgánica y los ciclos de nutrientes del suelo, se propone el estudio de indicadores biológicos para proporcionar datos sobre este importante aspecto del suelo. La actividad microbiana en combinación con otras técnicas, proporciona el aspecto biológico, como un indicador de calidad de suelo de gran importancia.

I.4. Delimitación

El análisis del impacto de los residuos metalúrgicos está destinado a conocer las propiedades fisicoquímicas actuales del suelo sometido a la contaminación, además del efecto provocado en la actividad de los microorganismos presentes. El sistema elegido para la realización de la recolección de muestra es un área de 72000 m² pertenecientes a una



industria inactiva que operó durante 22 años, dedicada a la fundición de aceros.

La empresa paralizó sus actividades en diciembre del año 2002 y hasta la actualidad no se ha asignado ninguna otra actividad económica en ese espacio. El área total se encuentra dividida en ocho parcelas, de las cuales, el área de producción ocupa 20000 m². Existen dos zonas de tamaño indefinido fuera del área de producción, donde se depositaban los desechos de producción y arena de sílice, a la intemperie.

El espacio de estudio se encuentra ubicado en el parcelamiento industrial de la ciudad de Tinaquillo en el estado Cojedes, con frente a la calle H y entrada a la altura de la calle G. El parcelamiento industrial se encuentra ubicado al norte de la ciudad antes mencionada, sobre la margen izquierda de la autopista nacional José Antonio Páez.

Desde la paralización de la actividad de esta industria, el área residencial ubicada detrás de la empresa; que tiene por nombre barrio la Floresta; se ha visto en crecimiento, abarcando parte del parcelamiento industrial. La realización de este proyecto se lleva a cabo con el consentimiento de la Asociación Cooperativa Aceros Moldeados Tinaquillo RL, quienes tienen el terreno en custodia actualmente.



CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

II.1. Reseña Histórica

En Venezuela, la industria del hierro inicia sus actividades formalmente en la década de los 50, con la instalación de la empresa Orinoco Mining, filial de la U.S. Steel. En 1958 se crea el Instituto Venezolano del Hierro y posteriormente, en 1960, el Presidente Rómulo Betancourt decreta la creación de la Corporación Venezolana de Guayana (CVG). El 9 de julio de 1962 se realiza la primera colada de acero en la planta de Matanzas, que después fue administrada por la nueva empresa CVG Siderúrgica del Orinoco (SIDOR). (Efemérides Venezolanas, 2004).

La industria del acero tiene gran importancia económica y promueve un gran desarrollo en la localidad donde se ubica, siendo Venezuela un país con grandes reservas de hierro, la fabricación del acero es factible. Con el crecimiento de la industria petrolera y la industrialización en el país, nace Aceros de Venezuela en el año 1980. Esta empresa tenía como función la fabricación de piezas en acero moldeado al carbono y aleado, además de la fundición gris y nodular desde 2 kg hasta 5 tn.

Al paralizar sus funciones en el año 2002, la empresa se encuentra inactiva. Debido a que el impacto ambiental de esta industria es significativo, se plantea el estudio de la contaminación del suelo. El estudio del impacto ambiental tiene sus orígenes en la década de los 60, en Estados Unidos bajo una institución con el nombre de "Environmental Impact Assessment" (E.I.A.).

El EIA es uno de los principales instrumentos preventivos para la gestión del medio ambiente. Se trata de un procedimiento administrativo para el control de los proyectos que se apoya en la realización de estudios técnicos (estudios de impacto Ambiental) y en un proceso de participación pública (Gómez, 2003).



La conferencia sobre ambiente y desarrollo convocada por la Organización de las Naciones Unidas, la cual tuviera lugar en Estocolmo, Suecia, en 1972, produjo en el mundo una proliferación, en años subsecuentes, de legislaciones ambientales y organizaciones responsables de la vigilancia en diversos países, a los cuales se suma Venezuela en 1966 y 1977 (Gutiérrez, 2006).

El establecimiento de diferentes organismos y entes se han encargado de regular el impacto ambiental a través del tiempo en el país, desarrollando diferentes leyes ambientales. En la actualidad Venezuela cuenta con la Ley Orgánica del Ambiente decretada desde el año 2006, la cual se encarga de establecer las disposiciones y los principios rectores para la gestión del ambiente, en el marco del desarrollo sustentable como derecho y deber fundamental del Estado y de la sociedad.

II. 2. Antecedentes

Al Gaidi (2010), en su publicación sobre efectos de metales pesados en la población y procesos microbiológicos del suelo, evaluó la respiración inducida por sustrato en los microorganismos del suelo en presencia de metales pesados como plomo y cadmio. También empleó muestras de suelo arenoso (10 cm de profundidad) que se trataron con metales pesados (CdCl_2 y PbCl_2) durante seis meses, para realizar la determinación de la biomasa microbiana y la evolución del CO_2 , la biodisponibilidad de los metales en los microorganismos y el efecto de los metales sobre la actividad de los microorganismos.

Las experimentaciones concluyen que la respiración es un buen bioindicador para determinar el efecto de los metales pesados en los microorganismos, ya que presenta un aumento en la cantidad de CO_2 producido, en comparación con el suelo que no fue tratado con los metales. También se demuestra que el cadmio tiene un mayor efecto de toxicidad en



comparación con el plomo, provocando una disminución en la población de bacterias totales o biomasa microbiana.

Los autores Chaperon y Sauvé (2007) expresan en su publicación el efecto de la toxicidad y la interacción de metales (Ag, Cu, Hg, Zn) sobre la actividad de la ureasa y deshidrogenasa en suelos. Además, el efecto de estos metales y sus mezclas sobre las propiedades fisicoquímicas y las actividades enzimáticas suelos agrícolas y de bosques arenosos. Entre las propiedades fisicoquímicas evaluadas por estos autores se encuentran: el pH, la materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico y la capacidad de campo.

En este estudio se determinaron la actividad enzimática de la deshidrogenasa y la ureasa. Los resultados mostraron que Ag y Hg presentan la mayor toxicidad sobre estas enzimas, mientras que Zn es de menor toxicidad. Los suelos agrícolas mostraron una disminución de la actividad enzimática con todos los metales, mientras que las mezclas binarias como el Cu y el Hg provocan una mayor toxicidad a las enzimas; en comparación, una mezcla ternaria no aumenta la toxicidad del suelo significativamente.

Paolini (2003) describe las actividades enzimáticas en suelos de los altos llanos centrales (estado Guárico), a través del estudio de las actividades enzimáticas relacionadas con el ciclo del nitrógeno (ureasa y proteasa), fósforo (fosfomonoesterasas) y la actividad biológica (deshidrogenasa) y su relación con la vegetación (bosque y sabana), y ciertas características químicas como C_{org} , N_{total} , conductividad y calcio intercambiable).

La metodología incluye el muestreo de suelos de Calabozo (Edo. Guárico) a una profundidad de 0-5 cm y recolectadas al azar. Las propiedades químicas como el pH y la conductividad eléctrica emplearon una relación 1:2 y 1:5 de suelo:agua; el carbono orgánico total se determinó por digestión húmeda con dicromato de potasio en medio de ácido sulfúrico,



nitrógeno total por el método de Kjeldahl y el fósforo por oxidación con ácido nítrico.

Los resultados obtenidos demostraron que el contenido de carbono orgánico fue mayor en los suelos con vegetación de sabana, mientras que los cationes intercambiables fueron extremadamente bajos para muchos cultivos y sus pH ácido entre 4.8 y 5.7. Mientras la enzima ureasa presentó mayor variación entre los suelos, la proteasa, deshidrogenasa y fosfomonoestereasa acida están relacionadas con la fertilidad del suelo.

II.3. Bases Teóricas

II.3.1. Impacto Ambiental en el suelo

Se dice que hay impacto ambiental cuando una acción consecuencia de un proyecto o actividad produce una alteración, favorable o desfavorable, en medio o en alguno de los componentes del medio. Esta acción puede ser un proyecto de ingeniería, un programa, un plan, una ley o una disposición administrativa con implicaciones ambientales. (Conesa, 2010).

II.3.2. Indicadores de la Calidad del Suelo

Para determinar la calidad del suelo es necesario que existan variables que se empleen para la evaluación de las condiciones del mismo. Estas variables son llamadas indicadores, porque son instrumentos de análisis que permiten simplificar, cuantificar y comunicar fenómenos complejos. Además de representar una condición del suelo, otorga información acerca de los cambios o tendencias de la misma. (Bautista et al. 2004).

Los indicadores de calidad del suelo pueden ser propiedades físicas, químicas y biológicas; siempre y cuando permitan analizar las condiciones actuales e identificar los puntos críticos que influyen en el desarrollo sostenible. Además, deben considerar los posibles impactos antes de una



intervención y monitorear la incidencia de las intervenciones antrópicas; para determinar si el uso del suelo es sostenible. (Bautista et al. 2004).

II.3.2.1. Indicadores Físicos

Es necesario determinar las características físicas del suelo, ya que son una parte necesaria en la evaluación de la calidad de este recurso porque no se pueden mejorar fácilmente. Las propiedades físicas que pueden ser utilizadas como indicadores de la calidad del suelo; son aquellas que reflejan la manera en que este recurso acepta, retiene y transmite agua a las plantas, así como las limitaciones que se pueden encontrar en el crecimiento de las raíces, la emergencia de las plántulas, la infiltración o el movimiento del agua dentro del perfil y que además estén relacionadas con el arreglo de las partículas y los poros. (Bautista et al. 2004).

Dentro de los indicadores de calidad que forman parte de las características físicas del suelo se encuentran: La estructura, densidad aparente, estabilidad de agregados, infiltración, profundidad del suelo superficial, capacidad de almacenamiento del agua y conductividad hidráulica saturada. (Bautista et al. 2004).

II.3.2.1.1. Humedad

La cantidad de agua que posea el suelo es una de sus características más específicas y está determinada, fundamentalmente, por su textura, su contenido de materia orgánica, la composición de sus fracciones mineral y orgánica y el arreglo que presente el medio físico edáfico, por el aporte que se le haga natural (lluvia) o artificialmente (riego) de ella, así como por el consumo causado por la evapotranspiración. Debido a que el agua del suelo se adhiere a las partículas sólidas del mismo, hay una estrecha relación entre la cantidad de agua que son capaces de retener estas partículas y su composición. (Jaramillo., 2003).



II.3.2.1.2. Capacidad de Retención de Humedad

Es el contenido de humedad con que queda el suelo, luego de que sus macroporos han drenado completamente; se llega a esta condición de humedad luego de dejar drenar el suelo saturado, entre 48 y 72 horas; el agua en esta condición está retenida a tensiones comprendidas entre -0.1 y -0.3 atm. (Jaramillo, 2003).

II.3.2.1.3. Textura

La textura es aquella propiedad que establece las cantidades relativas en que se encuentran las partículas de diámetro menor a 2 mm, es decir, la tierra fina, en el suelo; estas partículas, llamadas separados, se agrupan en tres clases, por tamaños: Arena (A), Limo (L) y Arcilla (Ar) (Jaramillo D., 2003).

Muchas propiedades del suelo dependen de su textura, la que está determinada por la distribución y tamaño de las partículas sólidas que lo componen. Con la reducción de tamaño de las partículas, basándose en su diámetro, la superficie activa se amplía, aumentando la capacidad de adsorción de iones y la captación de agua. (Steubing et al, 2003).

II.3.2.2. Indicadores Químicos

Los indicadores químicos están asociados a condiciones de este tipo que afectan las relaciones suelo-planta, la calidad del agua, la capacidad amortiguadora del suelo, la disponibilidad de agua y nutrimentos para las plantas y microorganismos. Algunos indicadores están relacionados con la disponibilidad de nutrientes, incluyendo: carbono orgánico total, carbono orgánico lábil, pH, conductividad eléctrica, capacidad de adsorción de fosfatos, capacidad de intercambio de cationes, cambios en la materia orgánica, nitrógeno total y nitrógeno mineralizable. (Bautista et al. 2004).



II.3.2.2.1. Reacción del Suelo

La reacción del suelo es aquella propiedad que establece el grado de acidez o de alcalinidad que él presenta y tiene una gran influencia en muchas de sus propiedades físicas, químicas y biológicas. Por esta razón, es una de sus propiedades más importantes. La reacción del suelo se evalúa al determinar el pH del mismo, es decir, al establecer el logaritmo del inverso de la concentración de H_3O^+ que hay en la solución del mismo. (Jaramillo, 2003).

El pH del suelo se ve significativamente afectado por los diferentes componentes de la escoria que pasan a formar parte del mismo a través de la lixiviación o por agentes ambientales como la lluvia y el aire. Esta propiedad se encuentra profundamente relacionada con los metales, como el hierro y el aluminio, que pueden estar presentes en suelo en forma de sales solubles que tiendan a su forma iónica; así como también por otras sales como el CaO y el MgO , afectando la reacción del mismo.

La acidez intercambiable es la acidez que está asociada al Al^{3+} , $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$ y al $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$ y se establece determinando la cantidad de aluminio intercambiable que tiene el suelo al lavarlo con una solución de KCl 1N. Este tipo de acidez es la más importante en suelos que tienen $\text{pH} < 5.5$, ya que a partir de este valor empieza a aumentar la solubilidad de aluminio, en forma exponencial. (Jaramillo, 2003).

En suelos minerales con pH entre 5.5 y 6.5 no hay ningún contenido de acidez intercambiable por lo que desaparece la posibilidad de toxicidad con Al^{3+} , H_3O^+ o Mn^{2+} y por lo tanto hay una mejora en la actividad biológica bacteriana. En los suelos básicos se incluyen aquellos suelos que presentan valores de $\text{pH} > 7.3$. En el suelo funcionan como fuentes de alcalinidad aquellas sustancias que al reaccionar con el agua producen iones hidroxilo; en este sentido, los cationes alcalinos del suelo constituyen las bases, es decir, por los cationes Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ y Na^+ . (Jaramillo, 2003).



II.3.2.2.2. Intercambio Iónico

El intercambio iónico es un proceso reversible, estequiométrico y rápido mediante el cual la fase sólida retira y retiene algunos iones de la solución del suelo, al tiempo que le entrega cantidades equivalentes de otros, para establecer un nuevo equilibrio entre las 2 fases. Los procesos de intercambio mencionados se dan tanto con cationes como con aniones y la retención se lleva a cabo debido a la presencia de cargas electrostáticas en los coloides del suelo y en los iones presentes en la solución del mismo.

La capacidad de intercambio catiónico es la medida de la capacidad que posee un suelo de adsorber cationes y es equivalente a la carga negativa del suelo. Los cationes más importantes en los procesos de intercambio catiónico, por las cantidades de ellos que participan en dichos procesos, son Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ y Na^+ (las bases del suelo) y NH_4^+ . (Jaramillo, 2003).

La capacidad de intercambio aniónico es la medida de la capacidad que posee un suelo de adsorber aniones intercambiables y es equivalente a la carga positiva del mismo. Este tipo de intercambio es importante en el suelo porque afecta la disponibilidad de algunos nutrientes para la planta que se presentan en forma aniónica como son NO_3^- , SO_4^{2-} , HPO_4^{2-} , H_2BO_3^- y MoO_4^{2-} . Además, los procesos de intercambio aniónico son muy importantes en problemas de contaminación de suelos, puesto que algunos pesticidas, como el 2,4,5-T y el 2,4-D, así como algunos metales pesados como el Cr y el As, se presentan en formas aniónicas en el suelo. (Jaramillo, 2003).

II.3.2.2.3. Conductividad eléctrica

La determinación de la conductividad eléctrica se utiliza normalmente para indicar la concentración total de componentes ionizados en las soluciones. Las sales solubles en el suelo determinan la presencia en solución de una serie de combinaciones de cationes: calcio, magnesio, sodio, potasio y de los aniones: carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos etc. El valor de la



conductividad está relacionado con los sólidos totales disueltos. (Soriano, 2004).

II.3.2.2.4. Materia Orgánica

La materia orgánica condiciona las propiedades físicas del suelo tales como tamaño de poros, estabilidad de la estructura, densidad aparente, movimiento de agua, entre otras. Además, incide sobre la disponibilidad de nutrientes y en la actividad biológica del suelo. La disminución del contenido de materia orgánica va asociada a una degradación del suelo, por todo ello, la materia orgánica constituye uno de los indicadores de calidad de los suelos (Porta, 2008).

La relación entre el carbono orgánico total (C) y de nitrógeno total (N), conocida como la relación C/N, expresa la tasa a la cual el nitrógeno estará a disposición de las plantas. Por ello se puede utilizar como indicador de la calidad de una materia orgánica o de la materia orgánica del suelo de los medios aerobios.

II.3.2.2.4.1. Carbono total

La cantidad y naturaleza de carbono orgánico del suelo juega un papel importante en la calidad del suelo ya que afecta la productividad al influir sobre la estructura del suelo, capacidad de agua disponible para la planta, como fuente o extractor de nutrientes de la planta y como amortiguador en fluctuaciones súbitas en las características del suelo. (Amezquita et al., 2003).

II.3.2.3. Indicadores Biológicos

Los indicadores biológicos propuestos integran gran cantidad de factores que afectan la calidad del suelo como la abundancia y subproductos de micro y macroorganismos, incluidos bacterias, hongos, nemátodos, platelmintos, anélidos y artrópodos. Incluyen funciones como la tasa de respiración,



ergosterol y otros subproductos de los hongos, tasas de descomposición de los residuos vegetales, N y C de la biomasa microbiana (Bautista et al. 2004).

II.3.2.3.1. Respiración del suelo

Según explica Sherameti y Varma (2009): La extensión de los procesos del ecosistema pueden ser medidos por la respiración o degradación de materia orgánica, la cual al mismo tiempo provee un estimado de la actividad microbiana. Y en concordancia con sus referencias, afirman que la respiración del suelo esta positivamente relacionada con el contenido de materia orgánica del suelo tanto como con la actividad y biomasa microbiana. Sin embargo, esta correlación no es siempre significativa cuando los suelos están contaminados con metales pesados, ya que estos pueden reducir la respiración del suelo por la formación de complejos con substratos o matando microorganismos.

Los autores anteriormente mencionados, concluyen que las respuestas a la respiración del suelo contaminado con metales, no siempre son consistentes y que estos resultados contrastantes pueden ser debido a variaciones en los niveles de contaminación, y la fuente de la contaminación (p. e., lodos de aguas residuales o minería), en el periodo de tiempo sobre el cual estos han sido monitoreados, y en las características del suelo que lo recibe.

Sus resultados se basan en que a altas concentraciones de metales la producción de CO₂ disminuye, mientras que una contaminación moderada conduce a altos niveles de respiración. También, la inhibición de la respiración del suelo por metales pesados es más alta en suelos con baja cantidad de materia orgánica y capacidad de intercambio catiónico (CIC), que en suelos con altos valores de los mismos, lo que coincide con los resultados de sus referencias.



II.3.2.3.2. Actividad Ureásica

García (2003) explica que la enzima ureasa cataliza la hidrólisis de la urea a amonio y dióxido de carbono y esta se encuentra ampliamente distribuida en la naturaleza, en microorganismos, células animales y vegetales. La actividad enzimática puede estar asociada a células proliferantes y no proliferantes, pero también con células muertas o desechos de células, o estar inmovilizadas en arcillas y coloides húmicos. La ureasa es una de las enzimas más estudiadas junto con otro grupo de hidrolasas como la monofosfatasa alcalina y ácida, y la glucosidasa, enzimas básicas de rutina en estudios de calidad, fertilidad y en la evaluación del impacto de contaminantes del suelo.

La existencia de la actividad ureasa en el suelo, dependiendo de diferentes parámetros fisicoquímicos, biológicos, históricos, etc., parámetros que están condicionados por los tipos de suelo, tipo de cultivo, tipo de práctica agrícola, existencia o no de cubierta vegetal, suelos forestales, utilización de fertilizantes y o pesticidas y presencia de metales pesados. Además, el mecanismo de actuación de la ureasa en suelos ha puesto de manifiesto que es una enzima muy estable y raramente influenciada por la sequedad, irradiación, temperatura, etc. (García, 2003).

II.3.2.3.3 Biomasa Microbiana

Sherameti y Varma (2009) indican que la biomasa microbiana es un parámetro clave y una base esencial en muchos programas de monitoreo y que a pesar de que la biomasa microbiana ha sido propuesta como indicador para monitorear los efectos de los metales pesados en la salud del suelo, la cuantificación de la biomasa microbiana total en suelo dificulta la tarea relativamente, debido a la alta diversidad de los organismos involucrados y sus diferentes respuestas a metales pesados; en concordancia con sus referencias.



Se han encontrado reducciones significativas en la biomasa microbiana en suelos contaminados con metales en comparación con suelos no contaminados, debido a la fuerte relación entre la biomasa microbiana y el carbono del suelo. El coeficiente microbiano (relación de la biomasa microbiana C al carbono orgánico total, C_{mic}/C_{org}) ha sido usado como indicador del impacto por los metales pesados y ha sido propuesto como el índice más sensible a las perturbaciones del suelo.

III.3.2.3.3.1. Respiración Inducida por Sustrato (RIS)

Bloem et al. (2006) explican que el método de la respiración inducida por sustrato, basado en la detección de una respuesta respiratoria de los microorganismos del suelo por un suplemento de glucosa; mide solo los organismos activos o sensibles a la glucosa. Basado en este principio, el método de la respiración inducida por sustrato detecta biomasa bacteriana predominante. El método fue calibrado para determinar la biomasa microbiana (Anderson y Domsch, 1978) en un amplio tipo de suelos agrícolas y forestales.

La respiración inducida por sustrato ha sido ampliamente usada para la evaluación de riesgos ecotoxicológicos en suelos con metales pesados o contaminantes orgánicos y es un parámetro más sensible que la biomasa estimada por fumigación- extracción. Esto es debido a que probablemente la parte de la microflora más activa y sensible a la glucosa determinada por la biomasa por RIS, es más sensible a la contaminación que la biomasa microbiana total, como medición bioquímica. (Bloem et al. 2006).

Para la evaluación a profundidad de la biomasa microbiana se determinó el coeficiente metabólico (qCO_2), que indica la relación existente entre la biomasa microbiana y la respiración. Se emplea para evaluar los niveles de estrés en los microorganismos, un ecosistema inmaduro o un sustrato fácilmente mineralizable y para la determinación del efecto de las propiedades medio ambientales sobre el suelo. (Paz, 2007).



CAPITULO III

MARCO METODOLÓGICO

III.1. Diseño Experimental

La investigación realizada para llevar a cabo los objetivos de este proyecto se basó en un estudio cuantitativo de tipo experimental, el cual tuvo como variable independiente la actividad metalúrgica a la cual se ha sometido el suelo durante 22 años. La influencia de esta variable se midió sobre diferentes variables dependientes las cuales sirven para obtener una conclusión acerca del impacto ambiental sobre el suelo en los aspectos físico, químico y biológico; entre las cuales se consideraron pertinentes: retención de humedad, textura, reacción del suelo, conductividad eléctrica, capacidad de intercambio catiónico, carbono orgánico, nitrógeno total, respiración de los microorganismos del suelo, actividad ureásica y biomasa microbiana.

La actividad de los microorganismos fue estimada mediante la determinación de tres parámetros, la respiración del suelo (implicada en el ciclo del carbono), la actividad ureásica (involucrada en el ciclo del nitrógeno) y la biomasa microbiana. Estos parámetros, se obtuvieron a través de mediciones indirectas, las cuales son el nivel de CO_2 producido, la cantidad de amonio liberado y el CO_2 producido por la inducción de un sustrato, respectivamente.

Se eligieron estas variables porque se consideró, sobre la base de los antecedentes bibliográficos, que diferentes componentes de la escoria (sales de metales y no metales) de la actividad metalúrgica (considerada una fuente de contaminación primaria), pudieron disminuir o aumentar el pH del suelo dependiendo de las sales presentes y la reactividad de la misma, variar la humedad, la textura del suelo, la capacidad de intercambio catiónico por



los metales presentes, además de afectar la actividad de las comunidades microbianas por la presencia de metales pesados.

La manipulación de la variable independiente se realizó en tres grados o niveles que implican distancia desde el punto de contaminación máxima (contacto directo con la escoria) como primera sección, una sección más alejada de la escoria (contaminación mínima) y otra sección intermedia que se encuentre entre las dos secciones anteriores. Se seleccionó esta variable para determinar el efecto de la contaminación en función de la extensión y porque se ha empleado con anterioridad para la evaluación de una contaminación con metales pesados de manera focalizada como lo expresa Pennamen et al. (1996) en su publicación.

Para evitar fuentes de invalidación interna que pudieran afectar el experimento, se consideró que al ser una zona cercada la misma limita otros efectos y agentes externos que puedan perturbar el sistema, también se estableció una sección de control (una sección no afectada dentro de la zona delimitada) que sirvió de comparación para determinar los diferentes niveles de contaminación en presencia de la actividad humana. Finalmente, para lograr una equivalencia entre las secciones de experimentación se realizó una recolección de muestra seleccionada al azar ya que Hernández et al. (2003) afirma que la asignación al azar nos asegura probabilísticamente que dos o más grupos son equivalentes entre sí.

II.2. Población y Muestra

La población en estudio la constituyó el área total de la empresa, la cual fue dividida en ocho parcelas aproximadamente de 9000 m² cada una. El área total fue dividida en dos secciones: la primera implica cuatro parcelas entre las cuales se encontraba el área de producción, y la segunda; el área visualmente contaminada ocupando el resto de las parcelas.

El área de producción implica 20000 m² que serian dos parcelas y un poco más de una tercera parcela. En esta área el terreno no ocupado por la



construcción no presenta signos de impacto visibles en el suelo pues la vegetación se presenta homogénea y se consideró tomar esta sección como punto de control.

La segunda área se dividió en tres secciones aproximadamente de 12000 m² cada una, que ejemplifican los grados o niveles de variación de la variable independiente que sería la actividad metalúrgica. Los niveles de variabilidad se establecieron del 1 al 3; donde la sección 1 fue la más cercana a la construcción y la sección 3 la más alejada. La distancia seleccionada para delimitar las secciones fue de 80 m aproximadamente y se inició desde la zona de producción hasta el punto más alejado de la misma, dentro de la delimitación.

Se empleó un muestreo aleatorio estratificado ya que como explica Volke et al. (2005), en este tipo de muestreo la población en estudio se subdivide en estratos o subgrupos que tienen cierta homogeneidad en el terreno y que en cada estrato o subgrupo se realiza un muestreo aleatorio simple. El requisito principal para aplicar este método de muestreo es el conocimiento previo de información que permita subdividir la población. Por ejemplo, la división se puede realizar con base en la topografía, los horizontes del suelo, la mancha del contaminante, los cambios de color en el suelo, el crecimiento irregular de las plantas, etc.

Esto garantiza que los puntos de muestreo se encuentren repartidos más uniformemente en toda la zona, en función al tamaño del estrato y permite además conocer de forma independiente las características particulares de cada estrato. Es recomendable para áreas mayores de diez hectáreas y cuando el terreno no es homogéneo. (Volke et al. 2005).

Las secciones anteriormente mencionadas se dividieron en tres subestratos, la cual hace un total de nueve subestratos de 4000 m² aproximadamente para cada uno, que abarcaron toda el área con impacto visible. Los subestratos fueron denominados a, b y c para cada sección; como se muestra en la figura 1. Se optó por un muestreo estratificado porque

en las diferentes secciones de contaminación se presenta manchas de impacto específicas que podrían ser indicativos de una región que presente una heterogeneidad significativa.



Figura 1. Muestreo aleatorio estratificado en la zona delimitada de estudio.

Como indica Volke et al. (2005), las muestras colectadas en un tiempo y en un lugar particular son llamadas muestras simples. Este tipo de muestras representa las condiciones puntuales de una muestra de la población en el tiempo que fue colectado. Una muestra simple se puede considerar representativa cuando la composición de los contaminantes en un suelo es estable, es decir, no varía con el tiempo.

En cada estrato se seleccionaron 10 muestras simples ya que como el muestreo fue puntual, es decir en un momento único del tiempo, se consideró que todas las secciones a muestrear han sido sometidas a las mismas condiciones al culminar el impacto de la actividad metalúrgica. Posteriormente de cada sección se realizó una muestra compuesta, la cual estuvo conformada por las muestras simples anteriormente mencionadas. Se consideró realizar una selección de diez muestras por estrato similar al indicado por (Pennanen et al. 1996), las cuales fueron seleccionadas al azar con un tamaño de 10 cm² por 20 cm de profundidad.



La profundidad de muestreo se adoptó por el criterio que expone Volke et al. (2005): Existen dos porciones de suelo que son importantes para un muestreo ambiental: (i) la capa superficial (0-15 cm), que refleja la deposición de contaminantes transportados por aire o depositados recientemente; y (ii) la capa sub-superficial, en donde pueden encontrarse contaminantes depositados por derrames de líquidos o por entierros y que pueden encontrarse a profundidades considerables.

Posteriormente se realizó la homogenización de las muestras por estrato, las cuales se sometieron a un cuarteo del cual se seleccionaron las muestras que finalmente se analizaron por triplicado para cada ensayo. Las muestras se almacenaron en bolsas de plástico estériles, las cuales fueron debidamente identificadas por estrato. Se transportaron en cavas hasta el laboratorio a una temperatura de 4°C aproximadamente. La sección de control se muestreó aleatoriamente seleccionando 10 puntos al azar y empleando transectos en zigzag según las características del terreno, los cuales conformaron la muestra compuesta; de igual manera que las secciones afectadas por la actividad industrial.

III.3. Técnica de Recolección de Datos

Se emplearon diferentes técnicas de recolección de datos según los aspectos a estudiar, en este caso: físico, químico y biológico. El aspecto físico incluyó humedad, capacidad de campo y textura. El aspecto químico incluyó reacción del suelo, capacidad de intercambio iónico, conductividad eléctrica y materia orgánica total. El aspecto biológico incluyó el estudio de la actividad microbiana en el ciclo del carbono a través de la respiración de suelo, en el ciclo de nitrógeno a través de la actividad ureásica y la biomasa microbiana.



III.3.1. Indicadores Físicos

III.3.1.1. Humedad

Se determinó como indica (Jaramillo, 2003), se pesaron 10 g de suelo en un recipiente previamente pesado, y luego se colocó en la estufa por 24 horas a 105 °C. Posterior al tiempo transcurrido, se colocó la muestra en un desecador hasta alcanzar la temperatura ambiente y se pesó nuevamente. Cada determinación se realizó por triplicado.

III.3.1.2. Capacidad de Retención de Humedad

Se emplea el método de (Jackson, 1970), según el cual se pesaron 30 g de suelo secado al ambiente por 72 horas, luego se colocó el suelo pesado en un embudo con lana de vidrio previamente pesado y etiquetado. Se adicionó agua hasta el goteo y se dejó reposar a temperatura ambiente por 6 horas, para pesar posteriormente.

III.3.1.3. Textura

Se empleó la determinación de la textura empleando un método cualitativo según (Jaramillo, 2003). Se tomó una muestra de suelo seco sobre la mano y se observó el tamaño de los granos (grueso, medio, fino); se frotó una pequeña cantidad entre el pulgar y el índice para detectar cómo se sentía al tacto (suave, áspera, sedosa, etc.); se frotó posteriormente cerca al oído para establecer si producía ruido.

Se humedeció la muestra anterior lentamente, sin llegar a tener exceso de agua, se amasó y se trató de formar una bola, observando su comportamiento y estabilidad; se amasó nuevamente la muestra y se frotó entre la palma de la mano y una superficie sólida para formar un rollo. Se observó su espesor y estabilidad; se estrujó la muestra entre el pulgar y el índice para definir su plasticidad (facilidad para deformarse y conservar esa deformación): plástico, no plástico. Se adicionó un poco más de agua a la



muestra, se estrujó entre el pulgar y el índice para observar la pegajosidad de ella en los dedos (alta, regular, baja, nula).

En la palma de la mano, se colocó una cantidad de muestra definida, se lavó repetidamente, eliminando el agua turbia hasta que el agua salga limpia; para establecer un porcentaje aproximado de los separados que posee la muestra y la textura según la tabla 1.

Tabla 1. Clasificación de la Textura del Suelo

Textura	Tacto	Cinta	Bolas	Adhesividad*
A	Áspero	No	No	No
AF	Áspero	Muy Mala	Mala	Muy Poca
FA	Áspero	Mala	Mala	Poca
F	Muy Suave	Mala	Resistente	Poca
FL	Suave	Rizada	Buena	Media
L	Harinoso	Rizada	Regular	Poca
FArA	Poco Áspero	Regular	Buena	Alta
FAr	Suave	Regular	Buena	Alta
FArL	Suave	Rizada	Buena	Alta
ArA	Poco Áspero	Buena	Buena	Alta
ArL	Suave	Buena	Buena	Alta
Ar	Jabonoso	Buena	Firmes	Muy Alta

A: Arenoso F: Franco L: Limoso Ar: Arcilloso

*Se determina con el suelo casi saturado de agua, las demás propiedades se determinan con el suelo húmedo. Fuente: Jaramillo D. (2003) (pp. 174).

III.3.2. Indicadores Químicos

III.3.2.1. Reacción del suelo

Inicialmente se prepararon suspensiones de suelo: agua con relación 1:1; 1:2; en envases limpios y secos. Adicionalmente se preparó una suspensión suelo: KCl (1N) de relación 1:2. Se determinó el pH de las soluciones con un pH-metro por triplicado (Olarte, 1979; Faithfull, 2005).

El tipo de carga que presenta el suelo se puede detectar obteniendo el valor del delta de pH (ΔpH), haciendo la diferencia entre los valores de pH determinados en KCl y en agua, según la siguiente relación:

$$\Delta \text{pH} = \text{pH en KCl} - \text{pH en agua (1)}$$

Cuando el ΔpH adquiere signo negativo, en el suelo predomina este tipo de carga y es intercambiador catiónico; cuando el signo es positivo, el tipo de carga que predomina en el suelo es el positivo y éste es intercambiador neto de aniones (Jaramillo, 2003). Para la medición de pH se empleó un pH-metro marca OAKTON modelo P510 con exactitud relativa de pH ($\pm 0,01$) y temperatura ($\pm 0,3$) °C. Las mediciones se realizaron a una temperatura de 30 °C.



Figura 2. pH-metro marca OAKTON modelo p510. (Fuente: www.4oakton.com)

III.3.2.2. Capacidad de Intercambio Iónico

Debido a la presencia considerable de sales de aluminio calcio y magnesio presente en la escoria, se realizó la determinación de la acidez y basicidad intercambiable dependiente de los mismos.

III.3.2.2.1. Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)



Se pesaron 5,0 g de suelo seco en envases de 100 mL y se adicionaron 25 mL de acetato de amonio 1M a pH 7,0. Se agitó en un agitador horizontal por 30 minutos y se dejó en reposo por 15 minutos. Se centrifugó a 3000 rpm (1935.36 x g) y se filtró, para resuspender en 10 mL de acetato de amonio 1M y se centrifugó nuevamente. Se realizó un nuevo filtrado y las aguas de lavado (solución A) se recolectaron en un balón de 100 mL para la determinación de sodio, potasio, calcio y magnesio.

El precipitado se redisolvió en 50 mL de etanol al 95% para eliminar el exceso de amonio y se centrifugó a 3000 rpm (1935.36 x g) por 10 minutos, para posteriormente descartar el sobrenadante. La centrifuga empleada fue marca ORTO-ALRESA modelo Digitor con diámetro de 192 mm y máxima velocidad de 3500 rpm.



Figura 3. Centrifuga marca ORTO-ALRESA, modelo Digitor. (Fuente: www.ortoalresa.com)

El suelo se resuspendió en 50 mL de NaCl al 10% y se dejó en contacto por toda la noche, posteriormente se centrifugó a 3000 rpm (1935.36 x g) y se filtro el sobrenadante. El suelo se lavó con dos porciones de agua destilada y se recolectaron estas dos porciones con el sobrenadante anterior en fiolas de 250 mL, se le adicionó 10 mL de formaldehido al 40% y 2 gotas de fenolftaleína; para luego titular con NaOH 0,1 M. Se tituló

también, un blanco de 50 mL de NaCl al 10% con 10 mL de formaldehído al 40% y 20 ml de agua destilada.

Por otra parte, a la solución A se le determinó la concentración de potasio y sodio por emisión atómica a la llama, empleando una serie de patrones para la construcción de la curva de calibración, los cuales van desde 0,1 a 1,5 ppm de K y de 0,1 a 0,7 ppm de Na, respectivamente. Para la determinación de la concentración por este método se empleó el equipo de absorción atómica GBC-932 en modo emisión atómica, utilizando una llama aire- acetileno en relación (8:2) y empleando dos longitudes de onda; 330,2 nm para el potasio y 589,5 nm para el sodio.



Figura 4. *Espectrofotómetro de Absorción Atómica GBC-932. (FACYT- UC. 2011)*

Se determinó la cantidad de magnesio y calcio en la muestra empleando 10 mL de la solución A, a los cuales se le adicionó 1 mL de buffer $\text{NH}_3\text{-NH}_4\text{Cl}$ a pH 10 y dos gotas de indicador de negro de Eriocromo T y se tituló con EDTA 0,02 M. Empleando una titulación complejométrica, se determinó la concentración de calcio al titular 10 mL de la solución A con EDTA 0,02 M, utilizando adicionalmente 6 gotas de NaOH para aumentar el pH y 2 gotas de ácido calconcarboxílico. Siguiendo el método de (Olarte, 1979), anteriormente descrito, se determina la cantidad de magnesio por

diferencia entre la concentración total de calcio y magnesio, y la concentración de calcio.

La CIC del suelo se expresa en cmol (+) kg^{-1} de suelo o en $\text{meq (100 g de suelo)}^{-1}$ (ambas unidades son numéricamente iguales). (Jaramillo, 2003). La CIC depende de las concentraciones de las bases totales (Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^{+} y K^{+}).

III.3.2.3. Conductividad Eléctrica

Se emplearon las suspensiones de suelo: agua de relación 1:1; preparadas anteriormente y posterior a la medición de pH, se agitó por 60 minutos, se filtró para medir la conductividad del filtrado con un conductímetro por triplicado. (Olarte, 1979). El conductímetro empleado es marca HANNA, modelo E 215 con un rango de medición de (0 a 1999 $\mu\text{S/cm}$) o (0,0 a 199,9 mS/cm) con una desviación de (± 1) f. e.



Figura 5. Conductímetro marca HANNA modelo E215. (Fuente: www.hannaarg.com)

III.3.2.4. Materia orgánica (Carbono orgánico total)

Empleando el método de Walkey y Black modificado (Walinga et al., 1992), se pesaron de 0,5 g de suelo seco al aire y tamizado a 2mm, consecutivamente se colocaron en un tubo de ensayo y se le adicionaron 2 mL de K_2CrO_4 2N y 4 mL de H_2SO_4 concentrado. Se agitó suavemente y se dejó reposar por 24 h. Al día siguiente se transfirió a un matraz volumétrico



de 25 ml y se llevó al aforo. Se centrifugó a 3000 rpm ($1935.36 \times g$) por 10 minutos. El agitador orbital empleado fue marca BUNSEN modelo AO-400, con tiempo programado de 0 a 60 minutos y regulación de la velocidad de orbitación.



Figura 6. *Agitador Orbital marca BUNSEN. (Laboratorio de Investigaciones Bioquímicas FACYT-UC 2011)*

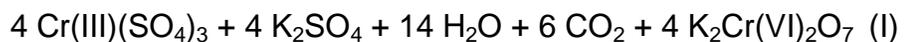
Se determinó la absorbancia de la solución sobrenadante en un espectrofotómetro UV visible a una longitud de onda de 600 nm. Se preparó una curva de calibración con patrones de sacarosa anhidra de 0, 0.1, 0.2, 0.3 y 0.4 mg de C/ mL solución, los cuales se sometieron al mismo proceso de las muestras tomando 1mL de cada solución, para medirlos a la misma longitud de onda.



Figura 7. *Coloración de muestras de suelo sometidas al método de Walkey y Black modificado. Muestra con menor contenido de COT a la izquierda y con mayor contenido de COT a la derecha.*



La determinación consiste en la oxidación del carbono orgánico por una mezcla oxidante de dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) y ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4), acelerada por el calor de dilución del H_2SO_4 en agua. El carbono orgánico reduce los iones Cr^{+6} amarillo - naranja del dicromato inicial a iones Cr^{+3} de color verde. (Arreiche y Pacheco, 1992) La reacción química que describe el método se presenta a continuación:



Las concentraciones de carbono orgánico en la muestra se expresan en mgC/g suelo, la cual se expresa en porcentaje de carbono (%C) para luego transformarla a porcentaje de materia orgánica (%MOT).

$$\%MO = \%C \times 1.724 \text{ (2)}$$

El equipo empleado fue marca UNICO modelo 1100RS, que opera con un ancho espectral de 10 nm; intervalo de longitud de onda de 335-1000nm; con intervalo fotométrico de 0-125%T, 0-2^a y 0-1999C (0-1999F) y utiliza como fuente de luz una bombilla halógena de Tungsteno.



Figura 8. *Espectrofotómetro marca UNICO modelo 1100RS. (Fuente: www.unicosci.com)*

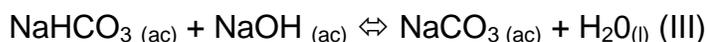
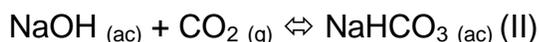


III.3.3. Indicadores Biológicos

III.3.3.1. Respiración del Suelo

Empleando el procedimiento descrito por Anderson (1982) se colocaron 30 g de suelo humedecidos en un 50- 60% de su capacidad de retención de humedad (capacidad de campo) en recipientes herméticos, para introducir un vial de 15 mL con hidróxido de sodio (NaOH) 0,1 M. Los envases cerrados se colocaron en la oscuridad a temperatura del laboratorio ($21 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$).

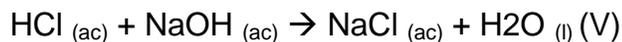
Los viales de NaOH se renovaron a los 1, 2 y 5 días inicialmente, para luego reponerlos cada 5 días hasta completar 40 días. Como blanco se empleó un recipiente que solo contenía el vial con NaOH, y el CO_2 desprendido se determinó por titulación con ácido clorhídrico (HCl 0,1 M) y precipitando los carbonatos con cloruro de Bario (BaCl_2 0,05 M) y empleando fenolftaleína como indicador. El CO_2 liberado se determinó indirectamente por una titulación ácido – base, donde inicialmente el dióxido de carbono reacciona con el NaOH formando equilibrios sucesivos:



El carbonato de sodio reacciona con el exceso de cloruro de bario:



Y el exceso de hidróxido de sodio que no reaccionó, se titula con ácido clorhídrico empleando fenolftaleína como indicador:



La respiración se expresa en CO_2 (mg/ Kg suelo x h), como se muestra a continuación:

$$\text{CO}_2 \text{ (mg x Kg suelo}^{-1} \text{ x h}^{-1}) = \frac{(a - b) \times \text{FC} \times 100}{\text{gs} \times t} \quad (3)$$

Donde:

a= volumen de HCl gastado en el blanco (mL)

b= volumen de HCl gastado en la muestra (mL)

FC= Factor de conversión de volumen (mL) de HCl de concentración determinada (0,1 M) empleados para titular 1 mg de CO₂

gs= Masa de suelo seco (g)

t= tiempo en horas.

III.3.3.2. Actividad Ureásica

Empleando el método de (Kandeler y Gerber, 1988) modificado para determinar la actividad ureásica, se pesó 1 g de suelo en un tubo centrifuga y se le adicionaron 0,5 mL de urea en las muestras y 0,5 mL de agua en los blancos o control. Se incubaron las muestras y blancos a 37 °C por dos horas y luego se les adicionó 10 ml de una solución de KCl-HCl a todos los tubos y posteriormente 0,5 mL de agua a las muestras y 0,5 mL de urea a los blancos. Se agitó por 30 minutos en un agitador horizontal y luego se centrifugó a 3500 rpm (2630 x g). Se empleo un baño termostático marca COLE-PARMER.



Figura 9. Baño termostático COLE-PARMER. (Laboratorio de Fisicoquímica - FACYT-UC 2011)



Se tomó una alícuota de 1 mL del sobrenadante y se colocó en un tubo de ensayo, se adicionaron 9 mL de agua destilada y 5 mL de solución de salicilato/hidróxido y 2 mL del medio de oxidación. Se dejó reposar por 30 minutos y luego se determinó la absorbancia a 690 nm. Anterior a esto se preparó una curva de calibración empleando patrones de Cloruro de Amonio a las siguientes concentraciones: 5, 10, 15, 20, 25 $\mu\text{g N-NH}_4/\text{mL}$.

Se empleó 1 mL de cada solución patrón las cuales se diluyeron con 9 ml de agua destilada respectivamente. Se adicionaron 5 ml de solución de salicilato/hidróxido y 2 mL del medio de oxidación. Se dejó reposar por 30 minutos y luego se determinó la absorbancia a 690 nm.

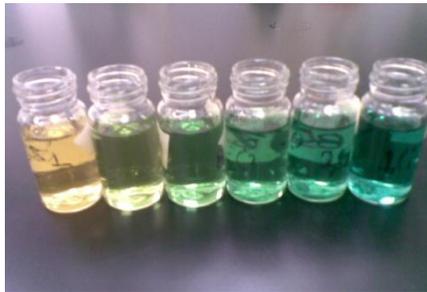


Figura 10. Curva de calibración para la determinación de la actividad enzimática. De izquierda a derecha de menor a mayor concentración de $\text{N-NH}_4/\text{mL}$.

La actividad de la ureasa (urea amido hidrolasa, EC 3.5.1.5) cataliza la hidrólisis de la urea a dióxido de carbono y amoníaco en una reacción basada en la formación de carbamato como intermediario. La determinación de amonio se realiza a través de la reacción de Berthelot con ciertas modificaciones. El amoniaco producido por la actividad ureasa reacciona con el salicilato y dicloro iso-cianuro para dar un color verde azulado. (García C., 2003).

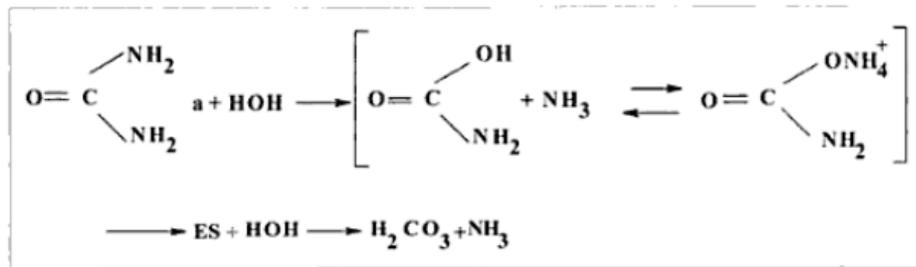


Figura 11. Reacción de la hidrólisis de la urea. Fuente: (García C., 2003)

La actividad se determina en base a peso de suelo seco, como $\mu\text{g} [\text{N-NH}_4^+]$ ($\text{g}^{-1} \times \text{h}^{-1}$). El cálculo se realizó mediante la ecuación:

$$\text{Act. Ureasa} = \frac{\mu\text{g} [\text{N-NH}_4]}{\text{g} * \text{h}} = \frac{(\mu\text{g} [\text{N-NH}_4] / \text{ml}) * 10 * 11}{\text{PS} * \text{h}} \quad (4)$$

Donde:

Act. Ureasa= Actividad de la enzima Ureasa

10 = Factor de dilución (2 mL de muestra o patrón + 8 mL de agua)

11 = Volumen Final (0,5 mL de sol. urea + 10 mL de KCl-HCl + 0,5 ml de agua)

h = tiempo de incubación (h).

PS = Peso de suelo seco de la muestra (g)

$\mu\text{g} [\text{N-NH}_4] / \text{mL}$ = Concentración de amonio liberado determinado por la curva de calibración.

III.3.3.3. Biomasa microbiana (RIS)

Un método alternativo para la determinación de la biomasa microbiana es el método de respiración inducida por sustrato (RIS). Este método estima la cantidad de carbono del lugar donde viven, células heterotróficas por la determinación de la respiración inicial en respuesta a la glucosa, una fuente de carbono rápidamente metabolizada, que es adicionada en el suelo. El



tiempo de incubación toma unas cuantas horas, con muestras de CO₂ mineralizado tomada en intervalos regulares. (Maier R. et Al, 2009).

Se empleó el método de (Anderson y Domsch, 1978) en el cual se pesaron 30 g de suelo al 50 - 60 % de capacidad de retención de humedad y se le adicionaron 4 mg de Glucosa anhidra por g de suelo, se homogenizó, se cerró herméticamente y se dejó en la oscuridad por dos horas. Transcurrido este tiempo donde se alcanza el máximo nivel de metabolización de la glucosa, se colocó un vial suspendido con NaOH 0,1 N y se dejó por un tiempo de 4 horas. Transcurrido este tiempo se realizó la titulación con HCl de igual manera que en el método de la respiración.

Según explican (Bloem et al. 2006), este método está basado en el principio de que, bajo condiciones estandarizadas, el metabolismo de la glucosa adicionada en exceso está limitado por la cantidad de microorganismos aeróbicos activos en el suelo. Durante las primeras horas después de la adición del sustrato no hay un rápido crecimiento de las poblaciones microbianas, y la respiración es proporcional a la cantidad de biomasa microbiana del suelo.

Una relación comúnmente usada fue provista por (Anderson y Domsch, 1978):

$$y = 40,04x + 0,37 \quad (5)$$

Donde: **y** es la biomasa C (mg/100g suelo seco) y **x** es la tasa de respiración (mL CO₂/100 g de suelo seco/h) (Maier R. et al. 2009). La tasa de respiración se determina como se describió anteriormente (ec. 3) y se emplea un factor de conversión de mL a mg de CO₂-C (asumiendo una atmosfera de presión: 1,7995 mg CO₂ = 1mL CO₂ a 25°C = 0,4908 mg CO₂-C).

Se determino el coeficiente metabolico (qCO₂) como un punto adicional para completar los datos necesario para realizar el análisis de la biomasa



microbiana. La fracción de C-CO₂ liberado por unidad de biomasa microbiana, se determino empleando la ecuación (Anderson y Domsch, 1990):

$$q\text{CO}_2 = (\mu\text{g C-CO}_2 \text{ basal h}^{-1} \times \mu\text{g Cmic}^{-1}) \times 10^3 \text{ (6)}$$

III.3.4. Coeficiente de Correlación de Pearson

Se empleo el coeficiente de Pearson para correlacionar dos conjuntos de datos según el indicador físico, químico o biológico a estudiar; para verificar si poseen una correlación significativa (positiva o negativa), con un nivel de significancia del 95 por ciento y empleando el valor $t_{95\%} = 2,309$ como referencia.

El coeficiente de Pearson es una prueba estadística para analizar la relación entre dos variables medidas por un nivel de intervalos o de razón, puede variar de -1.00 (correlación negativa perfecta) a 1.00 (correlación positiva perfecta). La prueba no considera en si a una como independiente y a otra como dependiente, ya que no evalúa la causalidad. La noción de causa-efecto es posible establecerla teóricamente pero la prueba no considera dicha causalidad. (Hernández et al. 2003).

Como expresa el autor (Camacho C. 2007), el coeficiente de correlación de Pearson viene definido por la siguiente expresión:

$$r_{xy} = \frac{\sum Z_x Z_y}{N} \text{ (6)}$$

Una vez calculado el coeficiente de Pearson (empleando el programa Microsoft Excel 2007), se determina su desviación estándar a través de la ecuación 7:



$$S_r = \sqrt{\frac{1-r_{xy}^2}{N-2}} \quad (7)$$

Se empleo la ley de Student con N-2 grados de libertad, con media del valor poblacional y desviación tipo, para comparar con el valor t al 95 por ciento de confianza:

$$t = \frac{r_{xy}}{\sqrt{\frac{1-r_{xy}^2}{N-2}}} \quad (8)$$

III.3.5. Análisis estadístico empleando Statgraphic Plus

El programa se empleo para realizar dos tipos de estudios estadísticos: La Tabla ANOVA y el Contraste de Múltiple Rango. Ambos se emplearon para evaluar si existe diferencia significativa o no entre los promedios de cada una de las secciones evaluadas con respecto al control.

La tabla ANOVA descompone la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre grupos y un componente dentro de cada grupo y se emplea el factor F-ratio, para establecer si existe diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las variables a un nivel de confianza del 95,0%.

El Contraste de Múltiple Rango aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar las medias que son significativamente diferentes unas de otras. El método actualmente utilizado para discernir entre las medias es el procedimiento de las menores diferencias significativas de Fisher (LSD). Con este método, hay un 5,0% de riesgo de considerar cada par de medias como significativamente diferentes cuando la diferencia real es igual a 0.



CAPITULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

El presente capítulo se dispone para el análisis de las propiedades físicas químicas y biológicas, la relación existente entre las mismas y su comparación con las diferentes normas que rigen el cuidado ambiental; para profundizar sobre el nivel de impacto que puede ocasionar la actividad de industria metalúrgica en el suelo.

IV.1. Indicadores Físicos

Los parámetros físicos para la evaluación de la calidad de suelo incluyen humedad, capacidad de retención de humedad y textura. Estos factores se encuentran relacionados ya que definen la estructura, que influye de manera importante en los demás parámetros estudiados.

Las propiedades físicas del suelo tienen una influencia especial sobre las propiedades químicas y biológicas del mismo (De las Salas, 1987), es por ello que son consideradas dentro de este estudio. La estructura del suelo es muy importante pues sirve de soporte para todos los procesos químicos y biológicos; y en concordancia con lo expuesto por De las Salas, las buenas propiedades físicas del suelo pueden ayudar a compensar las malas propiedades químicas (extrema acidez y baja fertilidad) o algunas propiedades biológicas limitativas (baja descomposición del humus); pero la productividad del suelo no puede aumentar únicamente en base a las propiedades físicas y es por ello importante analizar otros indicadores.

La humedad es un factor importante que influye especialmente en los parámetros biológicos, al momento de evaluar la calidad de suelo; los resultados se exponen en la Figura 12.

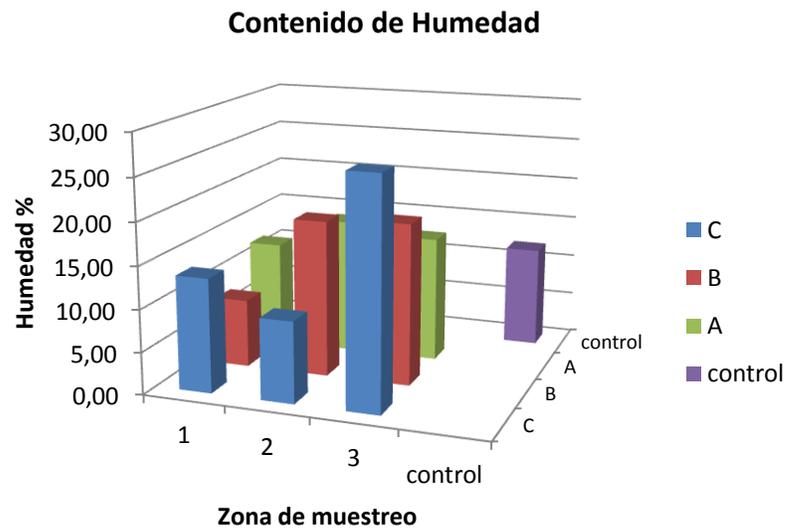


Figura 12. *Contenido de humedad del suelo. La sección 1 es la región más cercana a la fuente de la actividad metalúrgica, y la 3 la más alejada. Apéndice A.*

Como se observa en la Figura 12, las secciones más cercanas a la industria metalúrgica, y de mas fácil acceso para la disposición de los desechos sólidos, (que incluyen la escoria, chatarra y sílice), muestran menores niveles de humedad, pero en comparación con el control, la mayoría de las secciones muestran un mayor porcentaje. El análisis de varianza no muestra diferencia significativa en los niveles de humedad en comparación con el control. (Apéndice H).

Se observa que los estratos con menor porcentaje de humedad son el 1B y el 2C; el primero posee gran cantidad de escoria y arena de sílice; lo que puede afectar la correcta distribución del agua de origen fluvial (atrapada en los múltiples espacios de la escoria o fácilmente evaporada debido a que la sílice afecta la estructura del suelo). En el estrato 2C, a pesar de estar más alejado de la variable de afectación, la sílice ocupa gran parte del espacio, afectando el suelo tal como se describió anteriormente (Anexos: Figura 41).



En contraste a la situación anterior, el estrato 3C muestra un alto nivel de humedad, y además de ser una de las zonas más alejadas a la zona de actividad, era la única sección que contaba con una estructura definida en la mayoría de los puntos muestreados (Anexos: Figura 43); lo cual nos indica que este factor se ve influenciado por la textura del suelo. Cabe destacar que en los estratos 2B y 3B, se encontraba un estancamiento fluvial debido a la temporada lluviosa que influye en los altos niveles de humedad de esas secciones (Anexos: Figura 44).

Como indica (FAO, 2000) las propiedades físicas como la humedad, están influenciadas por la textura del suelo, ya que de esta depende el movimiento y disponibilidad de la humedad del suelo, la aireación y la disponibilidad de compuestos. Por lo tanto, se realizó su estudio para determinar si existe alguna relación con la humedad. Los resultados de la determinación cualitativa de la textura se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Determinación cualitativa de la textura del suelo.

Muestra	Textura
1A	Franco Arenoso
1B	Franco Arenoso
1C	Arcilloso Arenoso
2A	Franco Arenoso
2B	Franco Arenoso
2C	Arenoso Arcilloso
3A	Franco Arenoso
3B	Franco Arenoso Arcilloso
3C	Arcilloso
CONTROL	Franco Arenoso Arcilloso

Se observa que la sección 1 afectada directamente por el producto residual de la actividad metalúrgica tiene una composición arenosa mientras que la sección C posee componentes arcillosos principalmente. Esto es debido a que la disposición de los residuos de sílice sobre las secciones A y B afectó la composición original del suelo, disminuyendo la proporción de la



arcilla en estas secciones por la adaptación del ecosistema al agente externo; es decir, la sílice pasó a formar parte de la composición de suelo alterando su textura.

Efectivamente la humedad se ve afectada por la textura, mientras que los suelos arenosos poseen partículas más grandes y son mas sueltos, no tienden a retener humedad; y los suelos arcillosos de partículas pequeñas retienen mucha humedad y son más adhesivos. Las texturas francas son más equilibradas, como es el caso del control que muestra un nivel de retención de humedad intermedio.

La capacidad de retención de humedad se encuentra estrechamente ligada a la textura, y los resultados se muestran en la Figura 13.

Capacidad de Retención de Humedad

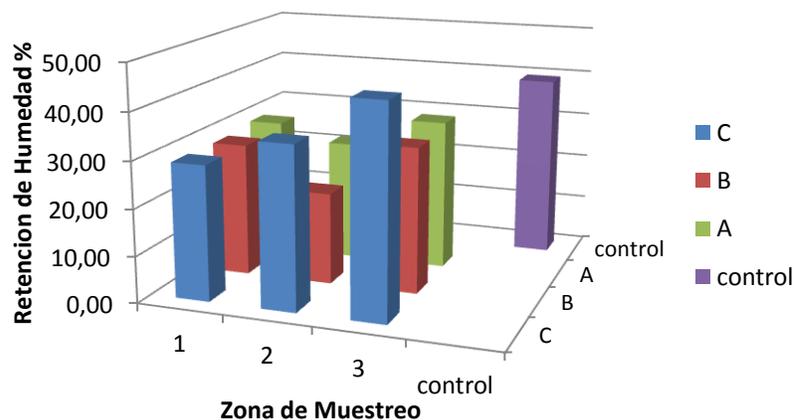


Figura 13. Capacidad de Retención de humedad en el suelo seco. La sección 1 es la región más cercana a la fuente de la actividad metalúrgica, y la 3 la más alejada. Apéndice A.

Es posible observar que la capacidad de retención de humedad en las diferentes secciones es menor a la del control, con excepción del estrato 3C. Esta sección muestra una textura arcillosa la cual posee microporos donde el agua queda atrapada, mientras que las otras secciones que muestran componentes arenosos poseen macroporos, que son capaces de almacenar



más agua, pero con mayor movilidad, lo que facilita la evaporación o lixiviación de la fase líquida, por lo tanto los suelos arenosos presentan menor capacidad de retención de humedad.

La textura es muy importante, ya que como lo indica (FAO, 2000), esto determina la cantidad de poros, si poseen buena continuidad y estabilidad y distribución, de manera que esta proporcione las características idóneas para que la humedad se distribuya homogéneamente. Esto es debido a que la humedad es retenida en los microporos del suelo, mientras que el aire tiende a ocupar los macroporos.

Evaluando estos factores que componen la calidad física del suelo, la distancia desde cualquier sección es un factor importante que influye en las propiedades del suelo, porque a menor distancia del punto de actividad el suelo presenta mayor variación con respecto al control, alterando su textura y disminuyendo la capacidad de retención de humedad; exponiendo esta zona a una sobreacumulación de compuestos (como iones o metales) o por el contrario, lixiviación de agentes compatibles con el agua.

Los resultados obtenidos muestran una variación en las propiedades físicas evaluadas en las zonas a y b, mayor que en la zona c. Esto puede ser debido a la acumulación de los residuos de la actividad metalúrgica en esas zonas específicamente, sin embargo no existe diferencia significativa entre secciones con respecto al control (Apéndice I).

La degradación de una textura inicialmente arcillosa puede explicarse a través de las deducciones expuestas por (Qadir M. et al. 2005), en las cuales explica que al adicionar el agregado seco (escoria o silicato de sodio), se producen reacciones de hidratación conllevan al establecimiento de fuerzas repulsivas, las cuales reducen la atracción entre las partículas de arcilla, dejando agregados débiles cargados de humedad. Es por ello que este proceso reduce el número y pequeños poros encontrados en la superficie del suelo arcilloso, disminuyendo la estabilidad de la estructura original.



IV.2. Indicadores Químicos

Las propiedades químicas del suelo son muy importantes para describir fenómenos biológicos y para explicar parámetros físicos en las propiedades del suelo. Los parámetros estudiados en este caso son la reacción del suelo, la conductividad eléctrica, la capacidad de intercambio catiónico y el carbono orgánico total del suelo.

La reacción del suelo es una variable de gran importancia ya que permite describir muchos de los procesos químicos y biológicos que ocurren en el suelo, y los resultados se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Reacción del suelo determinadas por diferentes metodologías.

Muestra	pH 1:1 pH \pm 0,30	pH 1:2 pH \pm 0,30	pH KCl pH \pm 0,30	Δ pH
1A	9,14	9,11	7,71	-1,40
1B	9,25	9,30	7,74	-1,56
1C	9,12	9,21	7,69	-1,52
2A	8,31	8,39	7,18	-1,21
2B	9,13	9,67	7,70	-1,97
2C	7,97	8,61	7,41	-1,21
3A	7,00	7,53	7,09	-0,44
3B	7,41	8,20	7,68	-0,52
3C	7,53	7,94	7,42	-0,52
CONTROL	6,66	7,77	7,09	-0,68

Existen procesos de gran importancia regulados por la reacción del suelo, entre los cuales se encuentran: la meteorización de minerales, la formación de arcillas, la descomposición de la materia orgánica y la disponibilidad de sales, entre otros (Fassbender & Bornemisza, 1987).

Los resultados obtenidos al medir el pH muestran que la región más cercana a la industria muestra un aumento considerable de pH hasta de dos



unidades en comparación con el suelo control (Tabla 3). La medición con diferentes relaciones de suelo:agua son empleadas para medir el pH sin la afectación por altas concentraciones de sales en el suelo. Se observa que al comparar las relaciones 1:1 y 1:2 los valores de pH no varían mucho, sin embargo tienden a aumentar. El ΔpH indica que el suelo puede actuar como un mejor intercambiador de cationes a medida que aumenta la distancia entre una sección de suelo y la empresa.

Se determinaron los pH en soluciones de KCl porque los valores de pH medidos en H_2O generalmente presentan una mayor variabilidad entre repeticiones, como lo indican (Fassbender & Bornemisza, 1987). El argumento empleado por los autores es que la adición de electrolitos en forma de KCl o CaCl_2 estabiliza la variabilidad, representada por el K^+ o el Ca^{2+} y el Cl^- a los cationes y aniones presentes en el suelo. También se corrobora que al aumentar la relación suelo seco: solución o agua, se observa una tendencia al aumento del pH, y que las mediciones del pH en KCl normal dan por resultado valores que son inferiores hasta por una unidad de pH debido al intercambio de cationes que realiza el potasio de la solución; a excepción de la sección 1.

El hecho de que la sección 1 presente esta diferencia significativa (Apéndice J) con respecto a las otras secciones, nos indica la presencia de otro factor además de las sales disueltas que influye en los valores de reacción de suelo. Los valores de pH disminuyen a medida que aumenta la distancia entre la sección y la zona de actividad metalúrgica, además de ser mucho mayor en la zona de disposición directa de desechos industriales. El aumento de hasta dos unidades de pH en la región afectada por la disposición de los residuos, indica un impacto significativo en las propiedades químicas del suelo. Mientras el control se ubica en una región débilmente ácida de pH, las secciones cercanas a la industria presentan un pH alcalino, limitando la disponibilidad de macronutrientes para las plantas (Tabla 4).



Tabla 4. Clasificación de los suelos según su pH.

Según Scheffer y Schachtschabel		Adaptado de Troug	
pH (KCl)		pH(H ₂ O)	
Extremadamente ácido	< 4,0	Muy ácido	< 5,5
Fuertemente ácido	4,0 – 4,9	Acidez media	5,5 – 6,0
Medianamente ácido	5,0 – 5,9	Acidez débil	6,0 – 6,5
Ligeramente ácido	6,0 – 6,9	Acidez muy débil	6,5 – 6,0
Neutro	7,0		
Ligeramente alcalino	7,0 – 8,0	Alcalinidad muy débil	7,0 – 7,5
Medianamente Alcalino	8,1 – 9,0	Alcalinidad débil	7,5 – 8,0
Fuertemente Alcalino	9,1 – 10,0	Alcalinidad media	8,0 – 8,5
Extremadamente Alcalino	10,1	Muy alcalino	8,5

Fuente: Fassbender H. & Bornemisza E. (1987).

En vista de que los antecedentes se basan en la posibilidad de que el pH se tornara más ácido, en suelos donde se desarrollan actividades metalúrgicas (Tabla 5); el hecho de que adicionalmente a este residuo se incorpore la arena de sílice empleada para la fabricación de moldes, influye de manera inversa a los resultados esperados inicialmente.

Evidentemente los metales pesados disminuyen su movilidad en suelos básicos, ya que como lo indica (Volke et al. 2005), el pH afecta la solubilidad y disponibilidad de macro y micronutrientes, la reactividad de minerales y la movilidad de metales. Es por esta razón que los metales pesados son móviles a pH bajo, en forma de especies iónicas libre como órgano-metales solubles, mientras que a pH alcalino forman carbonatos o fosfatos minerales insolubles.



Tabla 5. Comparación de los valores de pH, C orgánico, Respiración y Actividad Ureásica con otros autores.

Autor (es)	Actividad o Uso	pH (1:2)	Carbono orgánico Total	Respiración Basal	Actividad Ureásica
Chaperon & Sauvé (2007)	Toxicidad con Ag, Cu, Hg, y Zn	5,8 – 7,2	6-21%	—	343 – 18017 $\mu\text{mol/kg}$ suelo
Nourbakhsh et al. (2010)	Toxicidad con Cr, Cd y Pb	7,2 – 7,8	—	—	15,3 – 45,63 $\mu\text{g/g}$ suelo
Mogollón et al. (2010)	Suelos Áridos cultivados con melón y sábila.	7,37 – 8,32	0,38 -2,17%	12,29 – 27,16 $\mu\text{gCO}_2/\text{g}$ suelo	10,2 – 57,2 $\mu\text{g/g}$ suelo
Kaur et al. (2000)	Suelo salino agrícola	9,26- 9,34	0,14-0,77%	2,92 -21,73 $\mu\text{gCO}_2/\text{g}$ suelo	—
Shahinrokhsar et al. (2008)	Suelo agrícola	5,8 -7,9	0,66-5,37%	—	19,8 – 68,3 $\mu\text{g/g}$ suelo * 2h
Shah & Shah (2011)	Suelo salino	—	—	10 -25 mg CO_2/Kg suelo	—
Wapola et al. (2010)	Suelo salino	6,3-8,04	0,9 – 1,06%	—	—
Wong (2007)	Suelo ácido con adición de sales	4,40-5,32	0,99 – 5,87%	64 – 2246 mgCO_2/Kg suelo	—
Mavi et al. (2010)	Suelo ácido con adición de sales	6,5	1,15- 1,2%	1-2,4 mgCO_2/Kg suelo	—
Duran (2011)	Suelo afectado con escorias y silicato de sodio	7,77-9,30	0,41-1,41 %	6,34 – 10,38 mg CO_2/Kg suelo	1,54-24,61 $\mu\text{g/g}$ suelo



En vista de que el pH se ve influenciado por la concentración de iones, es necesario analizar la capacidad de intercambio catiónico y la concentración de los iones influyentes en el suelo. La ventaja del pH alto en la zona de disposición es que los metales pesados que son potencialmente peligrosos para la salud del suelo, disminuyen su movilidad.

Para una mejor comprensión de la variación del pH se analizan la capacidad de intercambio catiónico, ya que el pH depende de la concentración de iones intercambiables. Como lo indican Parra et al. 2002, los cationes actúan químicamente como bases (generando alcalinidad), y en consecuencia mientras mayor sea el porcentaje de dichos cationes en relación con la CIC, mayor es el pH; lo que coincide con los resultados obtenidos en los análisis de la capacidad de intercambio catiónico, en la Figura 14.

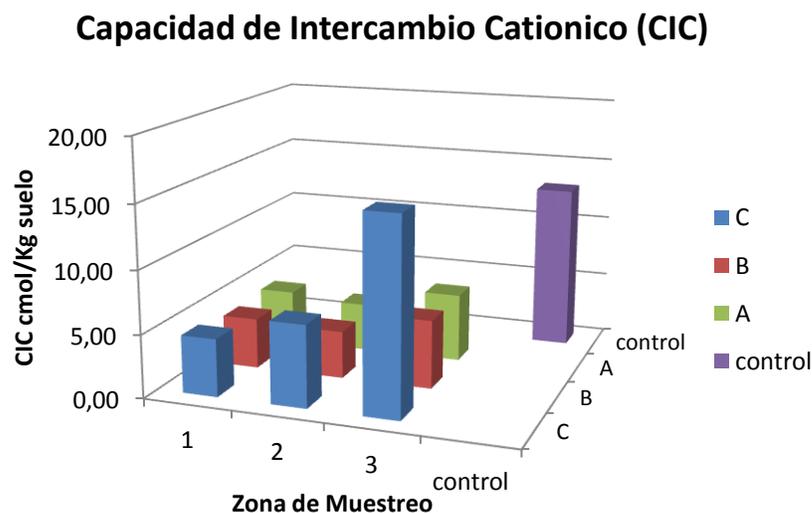


Figura 14. Capacidad de Intercambio Catiónico. La sección 1 es la región más cercana a la fuente de la actividad metalúrgica, y la 3 la más alejada. Apéndice D.

Los valores de CIC son bajos (3,76 – 13, 04 cmol/kg) en comparación con otros autores, Bejarano (2011) y Shahinrokhsar et al. (2008) obtuvieron valores entre 17 y 49 cmol/Kg para suelo contaminados con residuos sólidos



y de uso agrícola respectivamente; Chaperon y Sauvé (2007) obtuvieron un intervalo de 30 – 70 cmol/kg y Nourbakhsh et al. (2002) obtuvo valores de 33,5 – 40, 7 cmol/kg para suelos ácidos contaminados con metales pesados. Torres et al. (2006) obtuvieron valores de 15,8 a 17,2 para suelos salinos agrícolas.

Esto nos indica que la CIC puede variar de acuerdo a la textura del suelo. Los mayores valores de CIC se encuentran en suelos débilmente ácidos o neutros, la cual es posible relacionar con una textura con composición arcillosa que permita un mayor intercambio de cationes sin que se vea afectada por altos niveles de concentración de sodio o sales disueltas.

Debido a que las arcillas son aluminosilicatos hidratados, con una estructura que permite gran capacidad de intercambio y retención de agua, permite que los sistemas saturados con H^+ ataquen a la arcilla liberando el Al^{+3} y otorgando un mayor intercambio catiónico proveniente del Al^{+3} disponible, como lo indica Melgarejo, (2003). Los niveles de CIC son significativamente menores en la sección 1 y 2 con respecto al control, lo que indica que el impacto en estas secciones es significativo (Apéndice K).

Se evidencia que la sección 1, la más cercana a la empresa o zona de mayor acceso para la disposición de los residuos, posee una menor capacidad de intercambio catiónico que las otras zonas, lo que demuestra la presencia de sales o iones que afectan directamente la CIC y el pH. Aunque se observa una mayor CIC en el estrato 3C, su relación con el pH se analiza en conjunto con los resultados detallados de las concentraciones de las bases totales, que se muestran en la Tabla 12. La mayor contribución en la CIC es debido a las bases totales (Figura 15) y más específicamente al contenido de sodio que se encuentra en mayor proporción (Figura 16).

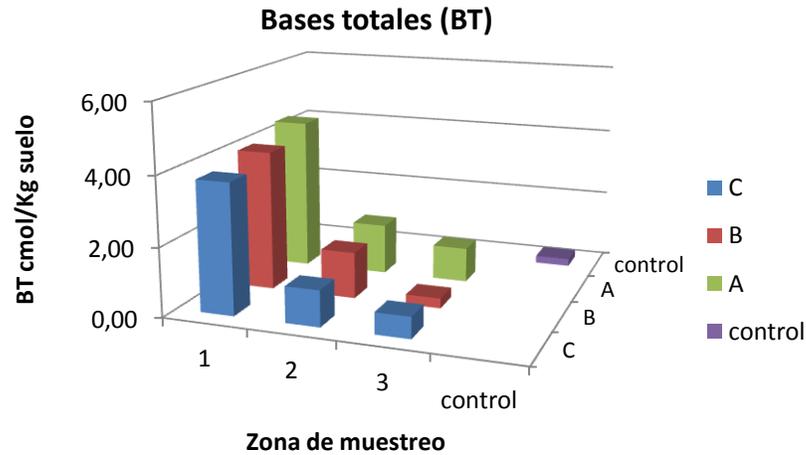


Figura 15. Bases totales (Na^+ , K^+ , Ca^{+2} y Mg^{+2}) La sección 1 es la región más cercana a la fuente de la actividad metalúrgica, y la 3 la más alejada. Apéndice D.

La diferencia entre los valores de la CIC y la sumatoria de las bases totales indican la acidez intercambiable (Tabla 9), es debida al Al^{+3} , el H^+ y otros metales de intercambio presentes en el suelo. Como se observa en las secciones 2 y 3 los valores de CIC son mayores a la sumatoria de las bases totales, es por ello que el suelo muestra un pH con ciertos niveles de acidez. En el caso de la sección 1 donde los pH son ligeramente superiores a la sumatoria de bases totales, existe un agente adicional que origina un aumento significativo del pH.

El aumento del pH en el caso de la sección 1 se origina por un mayor contenido de sodio intercambiable, que funciona como fuente de alcalinidad, actuando como una base. Al reaccionar con H_2O y da origen a iones hidroxilo (OH^-), es decir, el Al^{+3} y el H^+ son reemplazados por elementos alcalinos y alcalinotérreos, como K^+ , Na^+ , Ca^{+2} y Mg^{+2} , aumentando la concentración de OH^- y el pH; como indican Fassbender y Bornemisza, (1987).

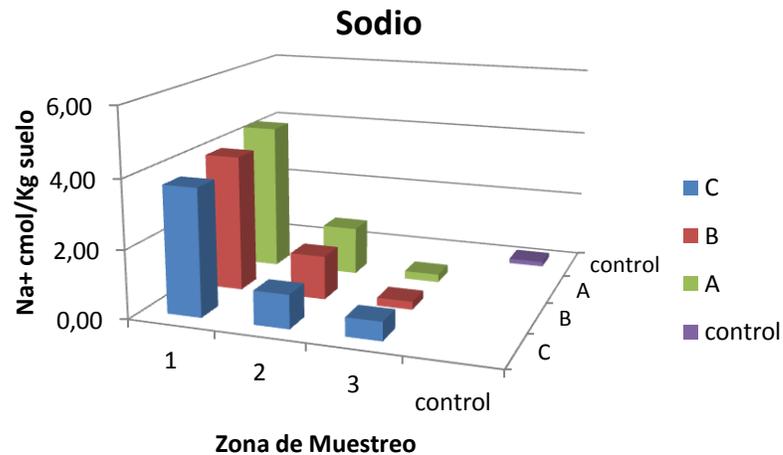


Figura 16. Concentración de sodio en el suelo. La sección 1 es la región más cercana a la fuente de la actividad metalúrgica, y la 3 la más alejada. Apéndice D.

Evidentemente el aumento de pH está directamente relacionado con la sobreacumulación de sodio en la sección 1, mientras más se aleja de la zona de actividad metalúrgica disminuye y se acerca al valor de concentración de sodio del control. La mayoría de los desechos que ocupan el espacio son productos para la fabricación de moldes refractarios para el moldeado del acero que está compuesto principalmente por silicato de sodio.

En la industria metalúrgica se emplean moldes cuyo componente principal es arena que se mezcla con aglutinantes para aumentar su dureza y resistencia. Kalpakjian S. et al. (2002), indica que el principal componente de la superficie de estos moldes se recubre con silicato de sodio o arcilla, que en este caso es uno de los componentes principales de los desechos dispuesto en el suelo. La presencia de silicato de sodio y la escoria cambia el pH del suelo, ya que es empleado para el encalamiento de suelos ácidos con muy buenos resultados, como lo indican Fassbender y Bornemisza, (1987); pero en este caso se presenta un exceso.

En el caso de las otras bases, se presentan niveles significativamente menores en comparación al sodio (Apéndice L). En orden decreciente, la



concentración del resto de las bases intercambiables se pueden expresar: $K^+ > Ca^{+2} > Mg^{+2}$. En todos los casos los valores de Ca^{+2} , Mg^{+2} y K^+ , de las secciones son menores al control (Tabla 13); a excepción de la sección 1A y 3C donde se presenta un mayor nivel de estas bases. Sin embargo en el primer caso es por la textura arenosa que produce una acumulación de estos iones y en el segundo caso por la textura arcillosa y el bajo pH, que permite la disponibilidad de los mismos.

La conductividad (Figura 17) se emplea para evaluar el nivel de sales disueltas en el suelo. En equivalencia a los casos anteriores, este factor también se ve afectado por la distancia, siendo la sección 1 (la zona más cercana a la empresa) el punto con menor conductividad. Evidentemente la baja disponibilidad de sales con respecto al control es porque la CIC y el pH afecta la capacidad de disponer de ciertas sales en forma iónica, además es posible observar que a pesar de que en la sección 1A se presenta un mayor nivel de bases intercambiables, otros iones no están fácilmente disponibles, o se encuentran formando parte de un conglomerado por lo que no afecta la conductividad al disolverse en agua.

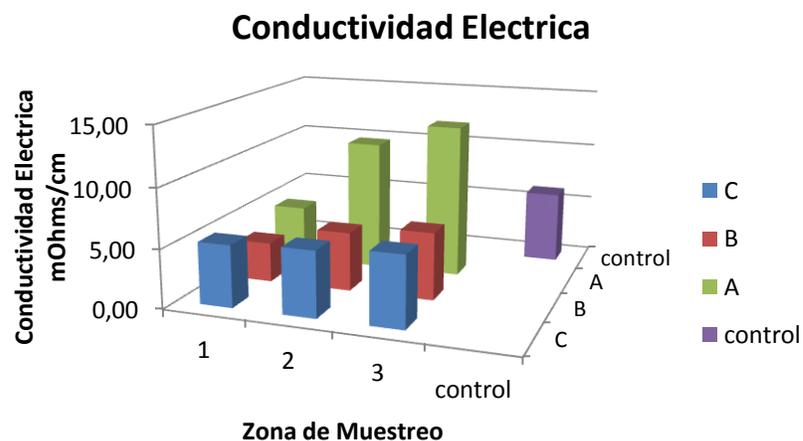


Figura 17. Conductividad Eléctrica. La sección 1 es la región más cercana a la fuente de la actividad metalúrgica, y la 3 la más alejada. Apéndice B.



El carbono orgánico total provee un índice de la materia orgánica presente en el suelo y además es un índice de gran importancia ya que se relaciona con muchos de los indicadores biológicos del suelo. Los valores de mgC/g suelo, %COT se muestran en la Tabla 10. El porcentaje de Carbono orgánico en todas las secciones difiere significativamente de los valores del suelo control, lo que indica que todo el terreno se ve afectado por el impacto de la industria, en este aspecto (Apéndice M). Los valores de %MOT se encuentran en la Figura 18.

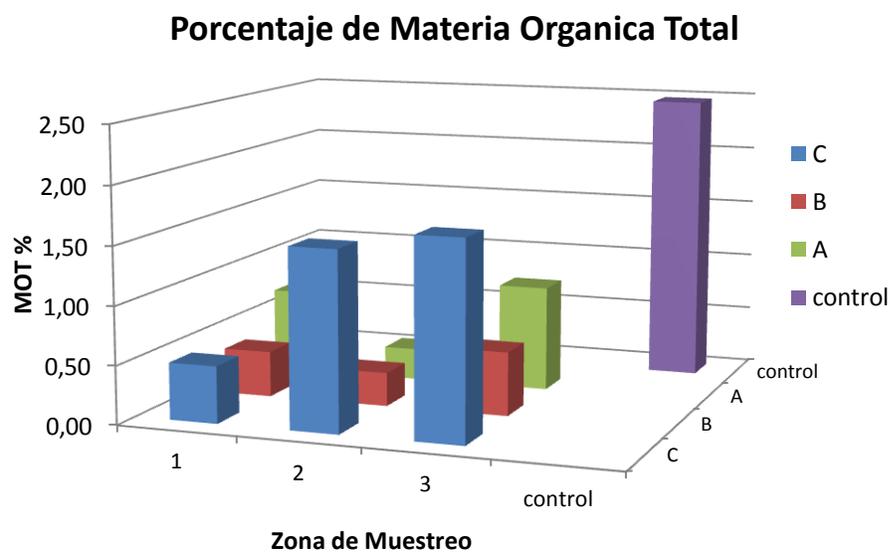


Figura 18. Porcentaje de Materia Orgánica Total (%MOT). Considerando que la materia orgánica es un 58% del COT. La sección 1 es la región más cercana a la fuente de la actividad metalúrgica, y la 3 la más alejada. Apéndice C.

Los valores de las secciones muestreadas en todos los casos son menores al de control. Los valores más bajos se encuentran en la zona afectada por la disposición de los desechos de la industria, mientras aumenta proporcionalmente con el distanciamiento. También muestra relación con la textura ya que los suelos con componentes arcillosos (secciones 3B, 3C y Control) que permiten una mayor retención de humedad, proporcionan un



ambiente favorable para el desarrollo de los microorganismos responsables de la degradación de la materia orgánica.

El porcentaje de carbono orgánico total es menor en comparación con otros autores (Tabla 5), incluso son comparables con los valores obtenidos por Kaur et al. (2009) para un suelo salino agrícola. La disminución de los valores del porcentaje de carbono orgánico total es debido a la disgregación de la materia orgánica en la sección de composición mayormente arenosa que es la principalmente afectada por la disposición de los desechos sólidos y en general por que los microorganismos que desarrollan la humificación del suelo se encuentran afectados por el estrés ambiental.

IV.3. Indicadores Biológicos

La evaluación de los factores biológicos es de gran importancia ya que de estos depende en gran parte el equilibrio y sostenibilidad del suelo. Se han dispuesto la respiración, la actividad ureasica y la biomasa microbiana como indicadores de calidad del suelo. La respiración basal es una medida del metabolismo de los microorganismos aeróbicos en respuesta a las condiciones ambientales. La variación de los niveles de CO₂ de se observan por sección en los siguientes gráficos consecutivos. (Figuras 19,20y 21).

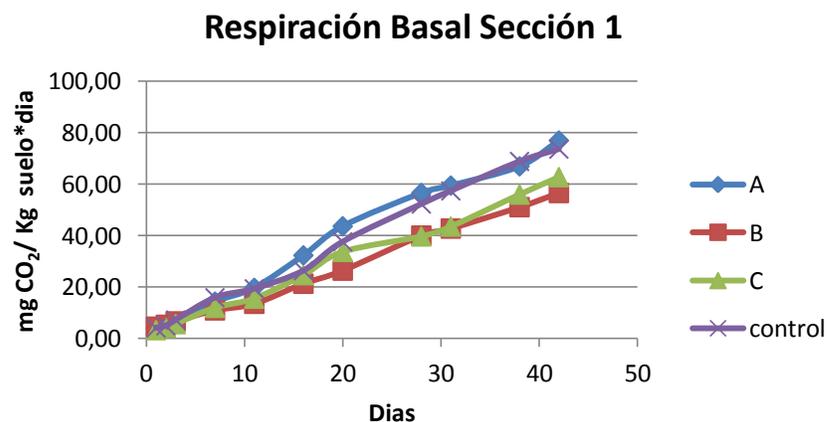


Figura 19. Respiración Basal Sección 1 (Más cercana a la zona de actividad metalúrgica). Apéndice E.

La sección 1B y 1C muestra valores bajos con respecto a las demás secciones y el control. La sección 1A muestra una mayor tendencia a la producción CO_2 que el control; esto es debido a que el suelo posee altos niveles de sodio y porcentaje de materia orgánica que las secciones 1B y 1C, y un porcentaje de humedad similar al del control; lo que influye en la disponibilidad de nutrientes esenciales para el metabolismo de los microorganismos.

Respiración Basal Sección 2

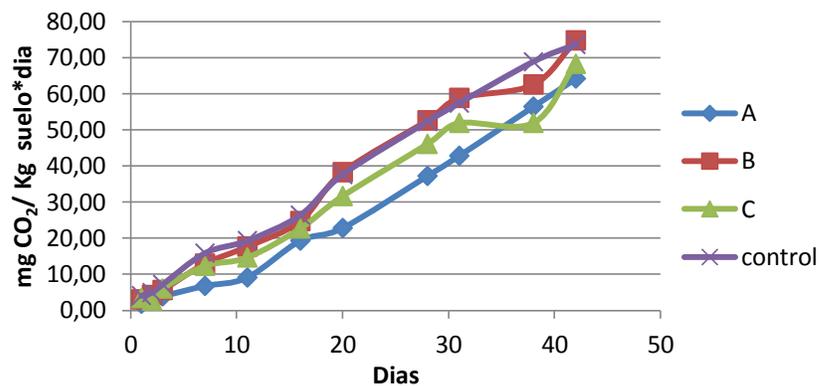


Figura 20. Respiración Basal Sección 2 (Distancia intermedia a la zona de actividad metalúrgica). Apéndice E.

En el caso de las secciones 2A y 2C, los valores son menores a los del control principalmente por su textura, que aunque es similar al control, no poseen el componente arcilloso que le otorga más estabilidad a la estructura del suelo, y por lo tanto el agua se evapora más rápidamente. La sección 2B a pesar de ser franco-arenosa posee un elevado porcentaje de humedad que proporciona un ambiente adecuado para el desarrollo de la actividad microbiológica de tendencia similar al control.

Respiración Basal Sección 3

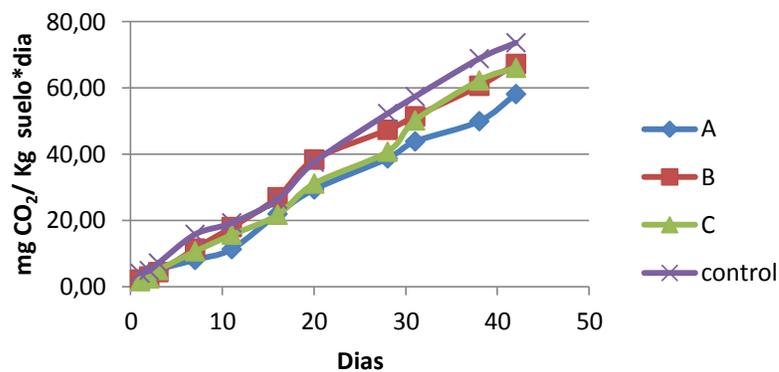


Figura 21. *Respiración Basal Sección 3 (Más lejana a la zona de actividad metalúrgica). Apéndice E.*

La sección 3B posee una tendencia similar al control, que es debido al gran porcentaje de humedad, como se discutió anteriormente. En el caso de la sección 3A y 3C los valores son menores al control. En el primer caso es debido a que esta zona posee una textura franco-arenosa y un porcentaje de humedad menor a la sección 3B. Por otro lado, la sección 3C posee una textura arcillosa; que aunque tiene un gran porcentaje de humedad no posee la disponibilidad de la materia orgánica de un suelo franco; por lo que los niveles de metabolización de CO_2 se ven limitados en comparación con el suelo control.

Se han realizado algunos estudios para analizar el efecto de la salinidad y sodicidad en la respiración de suelos, donde los niveles de respiración acumulativos fueron altos en baja salinidad y alta sodicidad, mientras que fueron menores en alta salinidad y alta sodicidad (Mavi M. et al. 2010). La primera condición propia de los suelos sódicos (sección 1B) y la segunda de suelos de las secciones 1A, 1C, 2A y 2B).

La respiración también ha sido estudiada en diferentes condiciones de salinidad y estado del suelo mostrando la disminución de los niveles de CO_2 al aumentar la salinidad. (Dellal A. y Halitim A. 1992; Wong V. 2007 y



Walpola C. y Arunakumara K. 2010). Los resultados de Respiración Basal promedio se muestran en la Figura 22.

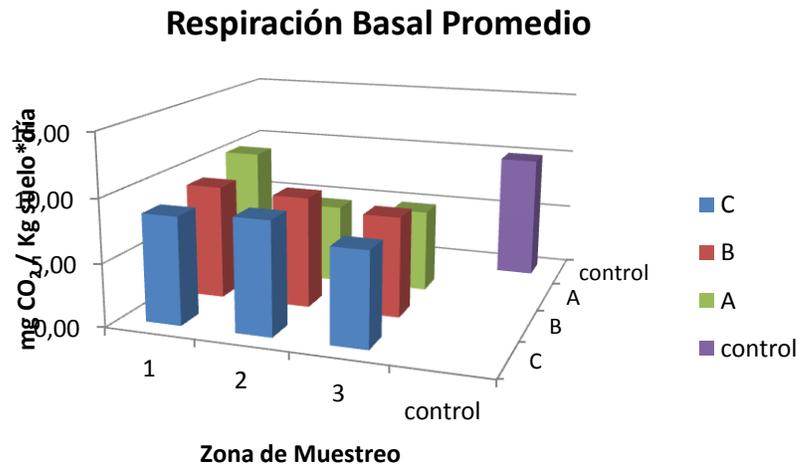


Figura 22. *Respiración Basal Promedio.* La sección 1 es la región más cercana a la fuente de la actividad metalúrgica, y la 3 la más alejada. Apéndice E.

La respiración basal promedio sigue la tendencia de que los niveles de respiración aumentan en suelos con altos niveles de salinidad alcanzando valores similares a los del control, lo cual es un aspecto positivo. Las secciones más cercanas a la zona de actividad metalúrgica y con impacto directo al suelo están favorecidas para el desarrollo de actividades metabólicas de microorganismos aeróbicos, esto es debido a la disponibilidad directa de las sales; que si bien son necesarias en ciertos procesos metabólicos de los microorganismos, pueden ser perjudiciales para organismos superiores, que en conjunto mantienen el equilibrio del suelo.

Los resultados obtenidos por (Wong, 2007), muestran que cuando la materia orgánica se solubiliza formando coloides, existe el aumento de la disponibilidad de sustrato que puede contrarrestar algunas de las fuentes de estrés ambiental, como el incremento potencial de la presión osmótica y las

toxicidades por iones. Es por ello que aunque se muestra una disminución a través del tiempo en la respiración acumulativa, la respiración basal promedio se mantiene por lo anteriormente expuesto.

Los valores de respiración basal son menores a los mostrados por otros autores (Tabla 5), pero muestran valores similares a los de otros suelos salinos. Este parámetro depende de la cantidad de microorganismos presentes en el suelo, que a su vez depende de la cantidad de materia orgánica y su disponibilidad, además de los niveles de estrés que puedan afectarlos. Los valores de respiración basal por sección no muestran diferencias significativas con respecto al control, esto es debido a que los microorganismos muestran una adaptación al cambio en las propiedades del suelo originado por la actividad metalúrgica (Apéndice N).

La actividad ureasa es otro indicador de calidad del suelo, puesto que está relacionado con el ciclo del nitrógeno del suelo, lo que es importante para ciertos macroorganismos y mantener el equilibrio biológico del suelo. Los resultados pueden observarse en la Figura 23.

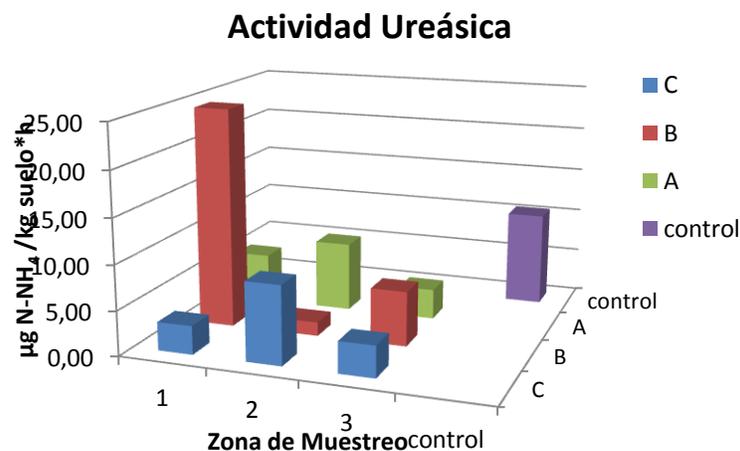


Figura 23. Actividad Ureásica. La sección 1 es la región más cercana a la fuente de la actividad metalúrgica, y la 3 la más alejada. Apéndice F.



Se observa que en la mayoría de las secciones, excepto la 1B, muestran una actividad enzimática menor a la del suelo control. En la actividad ureásica influyen muchos factores tales como el pH, la humedad, la textura, el nivel de materia orgánica entre otros. Esta sección posee un alto pH, lo que en combinación con la textura arenosa le confiere estabilidad a la enzima promoviendo en desarrollo de la actividad enzimática.

La razón por la cual la enzima se estabiliza en estas condiciones es que además del pH, existen otros factores como la ionización de los componentes o sustratos en el suelo, la textura, entre otros; que afectan la actividad microbiana. El pH en las condiciones coloidales del suelo, es diferente a las del suelo en solución, y la actividad ureasica se estabiliza en suelos que presentan un pH óptimo aparente de 8.5-9.0; que es 2 unidades de pH más grandes que el pH óptimo de la ureasa en solución como lo indica Eldor, (2007).

La humedad también afecta la velocidad reacción de la actividad enzimática y la actividad ureásica como lo expone Bejarano, (2011); ya que la reacción de hidrólisis ocurre en medio acuoso. Es por ello que la sección 1, que es la región con mayor capacidad de retención de humedad, posee un alto nivel de disponibilidad de agua para la actividad enzimática (más espacios de reacción enzimática), y por ende mayor actividad ureásica al momento de tomar la muestra.

Lo que diferencia a la sección 1B de las demás secciones es que posee las características de un suelo sódico, que es descrito por (Núñez, 1985), como un suelo con baja cantidad de sales solubles y altas cantidades de sodio intercambiable que causan la dispersión de la materia orgánica en la superficie originando colores oscuros. El pH de estos suelos es alcalino (8,5-10) y presenta una conductividad menor a 4 mOhms/cm.

Dharmakeerthi R. y Thenabadu M. (1996), citan en su trabajo de investigación que el pH óptimo de la ureasa depende del buffer usado en la solución, ya que al usar buffer fosfato y tris, el pH óptimo para la enzima



activa fue 6.5 a 7.0, mientras que al usar buffers de fosfato y borato mostraron que el pH óptimo de ureasa en extracto de suelo fue 8.3. La actividad ureásica se determinó con el pH original del suelo, es por ello que esta no depende exclusivamente del pH y la temperatura, sino que además depende del sistema donde se desarrolle la reacción.

La Sección 1B al ser un suelo con una conductividad de $(3,39 \pm 0,30)$ mOhms/cm y una alta concentración de sodio que además induce un pH básico, otorga la estructura necesaria al dispersar la materia orgánica y provocar una mayor disponibilidad de la misma (Anexo: Figura 42). Además de cuenta con un pH que le otorga estabilidad a la enzima y la cantidad de espacio necesario para el almacenamiento del agua, que provoca el desarrollo de los microorganismos y la reacción de hidrólisis; por lo que este suelo es un gran medio heterogéneo para llevar a cabo esta reacción enzimática.

Considerando esto, la influencia de las características del suelo es positiva para la actividad enzimática; ya que la hidrólisis de la urea puede llevarse a cabo en mayor nivel que en las demás secciones del suelo. Esto contribuye positivamente con el ciclo del nitrógeno, sin embargo, no afirma que sean las condiciones idóneas para el desarrollo de otros microorganismos, que contribuyen conjuntamente a la salud del suelo. Los valores de la actividad ureásica en todas las secciones no difieren significativamente del control, lo cual nos indica que la actividad ureasica no se ve afectada por la actividad metalúrgica a medida que aumenta la distancia (Apéndice O).

Los valores de ureasa obtenidos son mucho más bajos que los reflejados por otros autores (Tabla 5), aunque la sección 1B muestra el valor más alto por lo explicado anteriormente. Los valores de ureasa más altos están relacionados con la acidez de los suelos, debido a que la actividad enzimática es más estable, y también con el uso del mismo. Los suelos agrícolas muestran mayores niveles de actividad, porque generalmente se



emplea urea como fertilizante, además de que es necesario mantener ciertos niveles de nitrógeno para mejorar la calidad de la producción.

Por último se determina la biomasa microbiana cuyos resultados se muestran en la Figura 24.

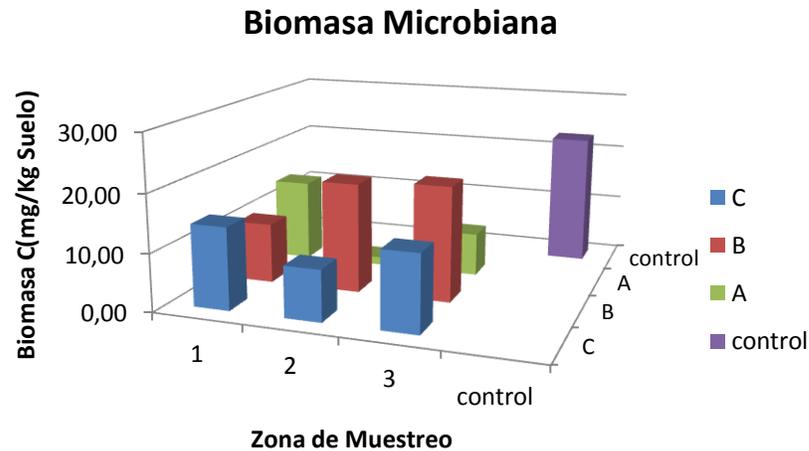


Figura 24. *Biomasa Microbiana. La sección 1 es la región más cercana a la fuente de la actividad metalúrgica, y la 3 la más alejada. Apéndice G.*

Los resultados de la biomasa microbiana en todas las secciones de afectación son menores a la del control. Los valores muy bajos como la sección 2A, indica que los microorganismos no alcanzaron el máximo nivel de respuesta con la concentración de 4mg Glucosa /g Suelo, o la influencia de otros factores afectan la disponibilidad de la glucosa y la sensibilidad de los microorganismos hacia la misma.

Wong (2007), amplía detalles sobre el efecto de las sales solubles y los niveles de sodio sobre la actividad microbiana, demostrando que los mayores incrementos en la biomasa microbiana ocurren en tratamientos con alta salinidad y sodicidad, y alta salinidad y baja sodicidad. Los niveles de biomasa microbiana obtenidos, concuerdan con los de Wong, lo que se



atribuye a la solubilización de la materia orgánica, la cual provee un sustrato adicional para la descomposición por parte de población microbiana.

También ocurre que se encuentran bajos niveles de biomasa microbiana en suelos con altos niveles de sodio y salinidad, ya que como cita Wong, ocurren dos procesos que afectan la actividad microbiana: El incremento de la presión osmótica como incremento de la concentración de sales (bajo nivel de biomasa microbiana y bajo el nivel de respiración) y el incremento de la disponibilidad de la materia orgánica (alta biomasa microbiana y alto nivel de respiración).

En concordancia con los resultados de Wong (2007), los autores Shah y Shah (2011) encontraron que la alta conductividad (por la alta concentración de sales) disminuye la biomasa microbiana, incrementando el estrés osmótico, y por lo tanto, disminuyendo la respiración y el tamaño de la población microbiana relacionada con el tratamiento de alta salinidad.

Suelos agrícolas (Ruiz y Paolini, 2004) muestran altos valores de biomasa (206-1553 $\mu\text{g C/g}$ suelo), mientras que suelos salinos forestales (Sánchez et al. 2010) muestran mayores niveles (201,1- 264,4 mg C /kg suelo); lo que en principio ocurre por los niveles de pH del suelo débilmente ácidos y los microorganismos autóctonos que se adaptaron al habitat, respectivamente.

Suelos contaminados con metales (Insam et al. 1996) muestran un amplio intervalo de valores de biomasa (28 – 3120 $\mu\text{g C/ g}$ suelo) que depende de su ubicación y el tipo de vegetación; mientras que suelos ganaderos (Gómez y Paolini, 2011), muestran valores menores (28,66 – 44,68 mg C/ Kg suelo) que aumentan con el cambio de uso (80,24- 151,97 mg C/ Kg suelo), lo que demuestra que la vegetación aumenta la biomasa microbiana en suelos impactados por agentes externos.

Los niveles de biomasa microbiana (1,36-22,78 mg C/ Kg suelo) son menores a los reportados por otros autores. En principio la respiración se ve afectada por el estrés ambiental provocado por el cambio de presión



osmótica causada por el aumento de concentración del sodio, como lo indica Wong (2007), además del cambio significativo de pH y la disminución de la humedad, lo que causa una disminución en la biomasa microbiana determinada por este método.

En términos generales la zona afectada por la disposición de los desechos industriales muestra un nivel menor de materia orgánica con respecto al control, lo que se atribuye al estrés por la alta salinidad y mayor pH, aunque no exista diferencia significativa entre los niveles de biomasa microbiana de las secciones afectadas y el suelo control (Apéndice P). Los indicadores biológicos son sensibles a condiciones ambientales específicas, algunas condiciones pueden ser favorables para un grupo de microorganismos mientras que para otros no; y en este caso la biomasa microbiana, en generales, no se ve afectada significativamente por la actividad metalúrgica.

Evidentemente el aumento de los niveles de sodicidad, pH y bases intercambiables son una fuente de estrés para el desarrollo de microorganismos en general, pero en el caso de los relacionados con la ureasa muestra una condición específica favorable, por lo tanto es comprobable que algunos microorganismos poseen cierta adaptabilidad a la actividad metalúrgica, pero es probable que algunos otros no sobrevivan a la misma. Los indicadores biológicos no muestran diferencia significativa al aumentar la distancia de la zona de disposición de los desechos industriales.

Para un análisis más completo se incluye el estudio del coeficiente metabólico, para evaluar la relación entre la respiración basal y la biomasa microbiana. Los resultados expuestos en la Figura 25, muestran que la zona 2B es a que muestra un mayor nivel de metabolización de CO_2 , lo que indica que los microorganismos se encuentran bajo un mayor nivel de estrés ambiental, generado por un conjunto de condiciones, entre las cuales se encuentran: el aumento de la composición arenosa en la textura, el aumento de pH de débilmente ácido a medianamente alcalino, y un aumento de la



conductividad eléctrica (aumento de la disponibilidad de sales disueltas en el suelo) que origina el aumento de la presión osmótica del medio.

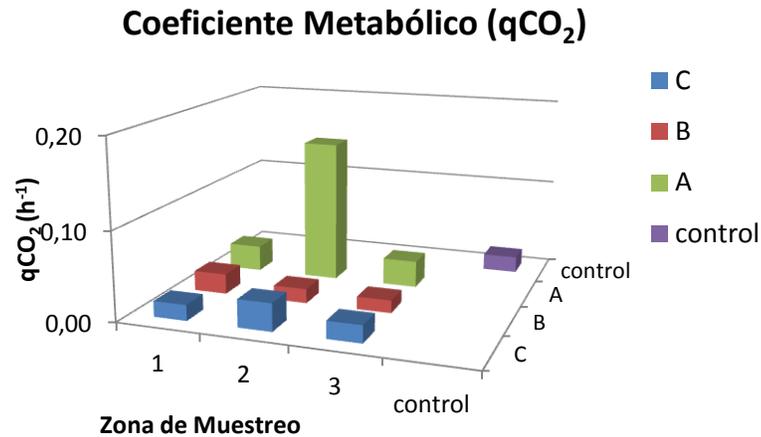


Figura 25. *Coefficiente metabólico (qCO_2). La sección 1 es la región más cercana a la fuente de la actividad metalúrgica, y la 3 la más alejada. Apéndice Q.*

Pesar de que la zona 2A muestra un mayor valor de coeficiente metabólico, al realizar el análisis de varianza por sección, no existe diferencia significativa entre cada una de las secciones y el control. (Apéndice Q).

IV.4. Correlación de Pearson

Este coeficiente es una gran herramienta para relacionar variables con significancia, para comprobar dependencias o incluir factores desconocidos de relación. Los resultados se muestran en la tabla 6.



Tabla 6. Coeficiente de Correlación de Pearson*

	%CRH	pH 1:1	pH 1:2	pH KCl	CE $\mu\text{S}/\text{cm}$	%COT	CIC	RBP	AE	BM	Na
BM											-0,19
AE										-0,14	0,33
RBP									0,27	0,61	0,41
CIC								0,41	0,33	-0,19	1,00
%COT							-0,50	0,27	0,00	0,35	-0,50
CE $\mu\text{S}/\text{cm}$						-0,15	0,57	0,70	0,59	0,38	0,57
pH KCl					0,80	-0,55	0,60	0,44	0,13	0,30	0,60
pH 1:2				0,81	0,68	-0,61	0,69	0,46	0,16	0,08	0,69
pH 1:1			0,95	0,76	0,60	-0,70	0,82	0,31	0,18	-0,16	0,83
%CRH		-0,67	-0,71	-0,42	-0,15	0,83	-0,40	-0,02	0,01	0,13	-0,40
%Hum	0,28	-0,27	-0,29	-0,04	-0,34	0,04	-0,48	-0,48	-0,60	0,14	-0,49

* Los valores en **rojo** indican correlación significativa ($P < 0.05$). BM: Biomasa Microbiana. AE: actividad enzimática (Ureasa). RBP: Respiración Basal Promedio. CIC: Capacidad de intercambio catiónico. %COT: Carbono orgánico total. CE: Conductividad Eléctrica. %CRH: Capacidad de Retención de Humedad. %Hum: Humedad. Na: Sodio.

Existe correlación negativa entre la capacidad de retención de humedad y el pH, ya que al aumentar esta, disminuye la concentración de protones y por ende el pH. Se observa también que el carbono orgánico total muestra una correlación significativa ($P < 0.05$) con la humedad relativa, que se evidencia en el hecho de que una mejor estructura de suelo permite un mayor nivel de fijación de la humedad, aumentando el desarrollo de la materia orgánica y los microorganismos dependientes de la misma.

La conductividad, muestra una correlación positiva con el pH 1:2 y KCl ($P < 0.05$); lo que indica que una baja concentración de sales permite obtener mejores mediciones de pH en las condiciones especificadas. La capacidad de intercambio catiónico esta positivamente correlacionada con el pH, como se demuestra anteriormente, un aumento en la capacidad de intercambio catiónico conlleva a un aumento significativo ($P < 0,05$) del pH.



La respiración basal promedio únicamente se encuentra relacionada con la conductividad eléctrica. Cuando el valor de la conductividad y el nivel de sales disponibles es mayor, la respiración basal aumenta, ya que evidentemente un aumento en la concentración de las sales en solución produce estrés osmótico en los microorganismos, disminuyendo su respiración.

Se analiza la relación del Sodio debido a su alta concentración en el suelo, evidenciando que posee relación positiva altamente significativa ($P < 0,05$) debido a que la alta concentración del mismo influye directamente en el pH, CIC y CE. Sin embargo por sí sola, la concentración de Sodio no influye en los indicadores biológicos evaluados.

IV. 4. Leyes y Reglamentos Ambientales

La Leyes Orgánica del Ambiente (2007), publicada en la Gaceta oficial de Venezuela n°5833, regula el uso y protección del suelo en su artículo 62, en el cual establece que el suelo debe usarse y aprovecharse según su capacidad, pero que se deben evitar acciones que generen la modificación de sus propiedades hasta provocar salinización o desertificación. El uso del suelo para fines industriales origina un impacto indirecto a través de la disposición de los residuos o subproductos provenientes de la actividad metalúrgica.

El artículo 62 también exige la adopción de medidas para evitar o corregir las acciones que provoquen la degradación del suelo. Es por ello que se evalúa las características del suelo a través de diferentes indicadores físicos, químicos y biológicos, para establecer si existe un impacto real sobre las mismas, sin embargo no se establecen condiciones que regulen la calidad del suelo. Otra legislación vigente en materia de suelos es la ley Forestal de Suelos y aguas (1966), y en su artículo 83 describe que el suelo debe usarse manteniendo su integridad física y capacidad productora. El uso



dado al suelo de la empresa es de tipo industrial y considerando que es una ventaja, que la disponibilidad de metales pesados se encuentra limitada por el aumento de pH; la disposición de los desechos debe regularse para evitar la salinización y la disminución de la calidad ambiental del suelo.

Según la ley de Disposición de Sustancias y Desechos sólidos peligrosos en el artículo 9, la escoria y el silicato de sodio puede definirse como productos químicos, y además son recuperables. La escoria puede emplearse para la fabricación de cementos, mientras que la chatarra puede reciclarse en nuevos procesos de producción del acero. En el caso de la sílice que puede ser empleada para la fabricación de moldes, debe reutilizarse o reducirse ya que ha afectado significativamente las características fisicoquímicas del suelo produciendo aumento de sodicidad del mismo.

Para garantizar el uso sustentable del suelo se debe emplear un tratamiento para recuperar y mantener sus características fisicoquímicas con el fin de evitar la desertificación. Es posible la recuperación de un pH adecuado empleando yeso para la restauración de bases intercambiables y recuperación de un nivel óptimo de salinidad. Es adecuado que la disposición de escoria se realice en suelos con pH alcalinos para disminuir la movilidad y toxicidad de los metales pesados, sin embargo la mejor opción es la disminución del volumen por reutilización.

Se han planteado también tratamientos de biorremediación y fitorremediación con buenos resultados para suelos sódicos y salinos. Para la fitorremediación se han empleado diferentes cultivos como el algodón la alfalfa, borraja, la hierba, entre otros (Qadir et al, 2007; Badi y Sorooshzadeh, 2010); y también se han empleado enmiendas orgánicas (Ansari, 2008) para recuperar las condiciones favorables del suelo. En el caso de emplear el suelo en otra actividad deben evaluarse otros indicadores biológicos para complementar este estudio, ya que la disposición de estos desechos no afecta significativamente el aspecto biológico del suelo.



CAPITULO V

Conclusiones y Recomendaciones

V.1. Conclusiones

- La textura original del suelo se ve afectada por la disposición de la arena de sílice en las zonas aledañas a la industria.
- El contenido de humedad y la capacidad de campo se ven afectadas por el impacto de la actividad metalúrgica de manera proporcional con la distancia.
- El pH aumenta significativamente en las áreas más cercanas a la zona de actividad industrial.
- La capacidad de intercambio catiónico es mayor en la zona afectada por la disposición de la arena de sílice y la escoria.
- La capacidad de intercambio catiónico en la secciones cercanas a la empresa, esta significativamente relacionada con el alto nivel de sodio intercambiable en el suelo.
- El alto nivel de sodio intercambiable, el pH y la disminución de las sales disponibles, permite clasificar la sección 1B como suelo sódico.
- Las secciones A y B poseen alta concentración de sodio.
- La conductividad eléctrica aumenta proporcionalmente con la distancia a la zona de actividad metalúrgica.
- Los niveles de materia orgánica son más bajos en la región más cercana a la industria y difieren significativamente del control.
- La respiración basal promedio es más alta en la sección 1A y en general toda la sección afectada por la disposición de los desechos no difiere significativamente del control.



- La acumulación de desechos como el silicato de sodio afecta el equilibrio del suelo alterando el pH y la textura, produciendo la acumulación de Na^+ , y disminuyendo la capacidad de retención de agua.
- la actividad ureasica se ve favorecida por una alta sodicidad y baja salinidad, de textura franco arenosa con alta humedad relativa.
- La sección 2A posee un bajo nivel de biomasa microbiana en comparación con las demás secciones, y en general el suelo afectado por la disposición de los desechos no difiere significativamente del control.
- La sección 2A posee un alto coeficiente metabólico, lo que indica que se ve afectada en mayor proporción por las condiciones de estrés originadas por la actividad metalúrgica.
- El impacto de los desechos de la actividad metalúrgica no afecta significativamente la biomasa microbiana, la respiración basal, la actividad ureasica y el coeficiente metabólico del suelo.

V.2. Recomendaciones

- Realizar un estudio complementario de la biomasa microbiana empleando un método que no sea afectado por el estrés ambiental.
- Realizar un estudio de diversidad microbiológica para determinar el impacto ambiental sobre otras especies no estudiadas.
- Evaluar la cantidad de metales pesados en horizontes profundos para descartar la acumulación de metales pesados en el subsuelo por lixiviación.
- Estudiar la mineralización de compuestos importantes como el nitrógeno y el fosforo.



- Reutilizar la escoria en el proceso de fabricación de cementos para disminuir su volumen.
- Reutilizar los excesos de arena de sílice en la fabricación de moldes y vidrios.
- Reutilizar la chatarra en nuevos procesos de fundición.
- Emplear un tratamiento de remediación a base de yeso para equilibrar y mantener el pH del suelo.
- Emplear el suelo sódico o los excesos de arena de sílice en el tratamiento de suelos ácidos o arcillosos o lodos residuales ácidos.
- El pH alcalino del suelo permite la disposición de la escoria, ya que disminuye la movilidad de los metales pesados pero debe reducirse su volumen, empleando un método de reutilización.
- El suelo debe ser remediado para equilibrar su pH y evitar la desertificación o disminuir la disposición de silicatos sódicos sobre el mismo.



BIBLIOGRAFÍA

- **Adams M. (1995).** *Fundamentos de química de los suelos.* Universidad Central de Venezuela. Caracas. (p.p.204)
- **Al Gaidi A. (2010).** *Effect of Heavy Metals on Soil Microbial Processes and Population.* Egypt Acad. J. Biolog. Sci. 2(2): 9-14.
- **Amézquita W., Caicedo A., Montenegro O., Herrer P., Barragán E., Norato T., Rivera J., Vásquez N. (2003)** *Métodos y normas para evaluar el uso sostenible de los recursos suelo y agua en el trópico.* Corpoica. Colombia. (p. p. 53-55).
- **Anderson, J. P. (1982).** Soil respiration. p. 831-871. En: Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. 2nd ed. (A.L. Page, R H. Miller and D.R. Keeney eds.) Soil Science Society of America Number 9. SSSA, Madison, Wisconsin, USA.
- **Anderson, J. P. y Domsch, K. H. (1978).** *A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils.* Soil Biol. Biochem., 10: 215-221.
- **Anderson, J. P. y Domsch, K. H. (1990).** *Application of eco-physiological quotients (qCO_2 and qD) on microbial biomasses from soils of different cropping histories.* Soil Biol. Biochem. 22(2):251-255
- **Ansari A. (2008)** *Soil Profile Studies During Bioremediation of Sodic Soils Through the Application of Organic Amendments (Vermiwash, Tillage, Green Manure, Mulch, Earthworms and Vermicompost).* World J. Agric. Sci. 4(5):530-553.
- **Arias A. (2001).** *Suelos Tropicales.* 1ra Edición. Editorial UNED. Costa Rica. (p. p 53).



- **Arrieché I. & Y. Pacheco (1992)** *Determinación de Carbono Orgánico en Muestras de Suelos Mediante dos Procedimientos Analíticos*. Revista Venesuelos Depósito Legal DLPP92-0468 6(1 y 2): 9-13.
- **Badi H. & Sorooshzadeh A. (2011)**. *Evaluating potential of borage (*Borago officinalis* L.) in bioremediation of saline soil*. Afr. J. Biothechnol. 10 (2): 146-153.
- **Bejarano B. (2011)**. *Estudio de Actividades Enzimáticas involucradas en el Ciclo del Nitrógeno en suelos impactados con Desechos Sólidos ubicados en la zona del Ereigüe -Estado Carabobo*. Trabajo Especial de Grado para optar al título de Licenciada. Universidad de Carabobo.
- **Bautista A., Etchevers J. Del Castillo R., y Gutiérrez C. (2004)** *La Calidad del Suelo y sus indicadores*. Ecosistemas. 13. 90-97.
- **Bloem J., Hopkins D., & Benedetti A. (2006)** *Microbiological Methods for Assessing soil Quality*. Cabi Publishing. London.
- **Camacho C. (2007)** *Coefficiente de Correlación Lineal de Pearson*. Análisis de Datos II. Universidad de Sevilla. Referencia Electrónica. Recuperado 10 septiembre del 2011. <http://personal.us.es/vararey/adatos2/correlacion.pdf>
- **Castells X. (2000)** *Reciclaje de Residuos Industriales*. Ediciones Díaz Santos. Madrid. (pp. 333-347)..
- **Chaperon S., y Sauvé S. (2007)**. *Toxicity Interaction of Metals (Ag, Cu, Hg, Zn) to Urease and Dehydrogenase activities in Soils*. Soil Biol. Biochem.. 39: 2329–2338.
- **Conesa V. (2010)** *Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental*. 4ta Edición. Mundi-Prensa. Madrid. (p.p. 73)
- **De las Salas G. (1987)** *Suelos y Ecosistemas forestales: en énfasis en América tropical*. 1ra Edición. IICA. Costa Rica. (p.p. 33)



- **Dellal A. y Halitim A. (1992).** *Activités microbiologiques en conditions salines: cas de quelques sols salés de la région de Relizane (Algérie).* Cah. Agric. 1: 335-40.
- **Dharmakeerthi R. y Thenabadu M. (1996).** *Urease Activity in Soils: A Review.* J. Natn. Sci. coun. Sri Lanka. 24(3): 159-195.
- **Efemérides Venezolanas (2004).** *Nacionalización del Hierro.* Referencia Electrónica. Recuperado 3 de Mayo del 2011. <http://www.efemeridesvenezolanas.com/index.htm>
- **Eldor P. (2007).** *Soil microbiology and Biochemistry.* 3rd Edition. Elsevier Academic Press.(p.p. 43)
- **Faithfull (2005)** *Métodos de análisis químico agrícola.* Manual Práctico. Editorial Acribia, S. A.
- **Fassbender H. & Bornemisza E. (1987).** *Química de Suelos con énfasis en los suelos de América Latina.* IICA. Costa Rica. (p.p. 161-183)
- **FAO (2000).** *Manual de Prácticas integradas para el manejo y conservación de suelos.* Boletín de Tierras y aguas de la FAO. Roma. (p.p. 9-10)
- **Garcia C. (2003).** *Técnicas de Análisis de Parámetros Bioquímicos en Suelos.* Mundi Prensa. México. (pp. 127-129).
- **Gómez D. (2003)** *Evaluación del Impacto Ambiental.* 2da Edición. Grupo Mundi Prensa Libros. México. (pp. 23, 169-203,566-570).
- **Gómez Y. y Paolini J. (2001).** *Variación de la actividad microbiológica por cambio de uso en el suelo de sabanas, Llanos orientales, Venezuela.* Biología Tropical. 59 (1): 1-15.
- **Gutiérrez L. (2006)** *La Gestión penal del Ambiente: El sector privado y la experiencia a diez años.* Universidad Católica Andrés Bello. (pp. 72).



- **Hartmann M., Fliessbach A., Oberholzer H. & Windmer F. (2006).** *Ranking the Magnitude of Crop and Farming effects on Soil Microbial Biomass and Genetic Structure of Bacterial Communities.* Fed. Eur. Microb. Soc. 57:378 -388.
- **Hernández R., Fernández C., y Baptista P. (2003)** *Metodología de la investigación.* 3ra Edición. Mc Graw Hill. México.
- **Insam H., Hutchinson T. y Keber H. (1996)** *Effects of Heavy Metals Stress on metabolic Quotient of the soil microflora.* Soil Biochem. 28 (4/5): 691-694.
- **Iyennperumal K & Shy W. (2007).** *Soil Microbial Community Composition and Structure: Residual Effects of Contrasting N Fertilization of Swine Lagoon Effluents versus Ammonium Nitrate.* Plant Soil. 232: 233-244.
- **Jackson, M. L. (1970)** *Análisis químico de suelos.* 2ª Ed. Ediciones Omega, S. A. Barcelona, España. (p.p. 66).
- **Jaramillo D. (2003)** *Introducción a la Ciencia de los Suelos.* Facultad de Ciencias. Universidad Nacional de Colombia. Medellín.
- **Kalpakjian S., Schmid S., Sanchez G., y Figueroa U. (2002)** *Manufactura, Ingeniería y Tecnología.* 4ta Edición. Prentice Hall. Mexico. (p. p. 281-282).
- **Kandeler, E. y Gerber, H. (1988)** Short-term assay of urease activity using colorimetric determination of ammonium. *Biol. Fertil. Soils*, 6: 68-72.
- **Kaur B., Gupta S., Singh G. (2000).** *Soil carbon, microbial activity and nitrogen availability in agroforestry systems on moderately alkaline soils in northern India.* Appl. Soil Ecol. 15: 283-294.
- **Ley Forestal de Suelos y Aguas (1966).** Gaceta Oficial de la Republica de Venezuela. N° 1.004 Extraordinario.



- **Ley Orgánica del Ambiente (2006).** Gaceta Oficial de La Republica Bolivariana de Venezuela N° 5.833 Extraordinario.
- **Maier R., Pepper I. & Gerba C. (2009)** *Environmental Microbiology*. Second Edition. Academic Press. China. (p.p. 205).
- **Marin M., Aragón P. y Gómez C. (2002)** *Análisis Químico de Suelos y Aguas: Manual de laboratorio*. Editorial Universidad Politécnica de Valencia. España. (pp. 145-147).
- **Mavi M., Marschner P., Chittleborough D., Cox J. (2010).** *Microbial activity and dissolved organic matter dynamics in soils are affected by salinity and sodicity*. 19th World Congress of Soil science, Soil solutions for a Changing World. Australia. Published on DVD.
- **Melgarejo J. (2003).** *Atlas de asociaciones minerales en lámina delgada*. Volumen 1. Publicaciones UB. España. (p.p. 183).
- **Mogollón J., Torres D., y Martínez A. (2010).** *Cambios en algunas propiedades biológicas del suelo según el uso de la tierra en el sector del Cebollal, Estado Falcón, Venezuela*. Bioagro 22(3):217-222.
- **Nourbakhsh F., Dinel H., Monreal C., Emtiazy G. (2002).** *Effects of Cr, Cd and Pb on L-asparaginase and urease activities in some soils of Central Iran*. 17th WCSS, 14-21 August, Thailand.
- **Núñez J. (1985).** *Fundamentos de Edafología*. 2da Edicion. EUNED. Costa Rica. (p. p.102)
- **Olarte, L. I. (1979)** *Métodos Analíticos del laboratorio de suelos*. Instituto Geográfico "Agustín Codazzi" 4^a Ed. Olarte, L. I. Editor. Bogotá, Colombia. (p.p. 664).
- **Paolini J. (2003)** *Actividades Enzimáticas en suelos de los Altos Llanos Centrales (estado Guárico)*. Venesuelos.11. 39-46.
- **Parra M., Fernández C., Navarro C. y Arquero O. (2002).** *Los suelos y la fertilización del olivar cultivado en zonas calcáreas*. Mundi-Prensa. Madrid. (p. p 37-38).



- **Paz J. (2007).** Propiedades bioquímicas de suelos de prado de Galicia. Universidad de Santiago de Compostela. Servicio de Publicaciones e Intercambio científico. (p.p. 32).
- **Pennanen T., Frostegård A., Fritze H., & Bååth E. (1996)** *Phospholipids Fatty Acid Composition an Heavy Metal Tolerance of Soil Microbial Communities along Two Heavy Metal-Polluted Gradients in Coniferous Forest.* Appl. Environ. Microb. 62. 420-428.
- **Porta J. (2008).** *Introducción a la Edafología: Uso y protección del Suelo.* Mundi Prensa Libros. México.(pp. 182-184)
- **Qadir M., Noble A., Schuber S., Thomas R., y Arslan A. (2005)** *Sodicity-Induced Land Degradation and its Sustentable Magnament: Problems and Prospects.* Land Degradation & Development. Published online in Wiley Interscience. (www.interscience.wiley.com).
- **Qadir M., Oster J., Schuber S., Noble A., and Sahrawatk K. (2007).** *Phytoremediation of Sodic and Saline-Sodic Soils.* Advances in Agronomy. Vol 96. Elsevier. (p.p.197-247).
- **Ruiz M. y Paolini J. (2004)** *El cultivo y el agua de riego sobre el Carbono de la biomasa Microbiana.* Agronomía Tropical. 52(2): 161-178.
- **Sánchez-Arias L., Paolini J. y Rodríguez J. (2010).** *Dinámica de las propiedades del suelo en bisques de Rizosphaera Mangle L. (Rhizophoraceae) en la Isla de Margarita, Venezuela.* Biología Tropical. 58(2): 547 – 564.
- **Shah S. y Shah Z. (2011).** *Changes in soil microbial characteristics with Elevated Salinity.* Sarhad J. agric. 27(2):233-243.
- **Shahinroksar P., Vahed H., & Haghdadadi A. (2008).** *Evaluation of some paddy soils properties on urease enzyme activity.* Conference on International Research on food Security, Natural Rsource Magnament and Rural Development. Univesity of Hohenheim.



- **Sherameti I. y Varma A. (2009)** *Soil Heavy Metals*. Springer. Berlin. (pp.192 – 194).
- **Soriano M. (2004)**. *Prácticas de Diagnóstico y Fertilidad de Suelos*. Universidad Politécnica de Valencia. España. (pp. 91-98).
- **Steubing L., Godoy R y Alberdi M. (2003)** *Métodos de Ecología Vegetal*. Editorial Universitaria. Santiago de Chile. (pp. 93-100).
- **Torres D., Rodríguez N., Yeidis H., Florentino A., y Zamora F. (2006)**. *Cambios en algunas propiedades Químicas del suelo según el uso de la tierra en el sector del Cebollal, Estado Falcón, Venezuela*. *Bioagro* 18(2):123:128.
- **Volke T., Velasco J., y De la rosa D. (2005)** *Suelos Contaminados por Metales y Metaloides: Muestreo y Alternativas para su Remediación*. Instituto Nacional de Ecología. México. (pp. 37- 56).
- **Walinga, I., M. Kithome, I. Novozamsky, V.J.G. Houba y J.J. van der Lee. (1992)**. *Spectrophotometric Determination of Organic Carbon in Soil*. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 23(15 y 16): 1935-1944.
- **Walpola B. y Arunakumara K. (2010)**. *Effects of Salt Stress on Decomposition of Organic Matter and Nitrogen mineralization in animal manure amends soils*. *J. Agric. Sci.* 5(1):(10-18).
- **Wong V. (2007)**. *Effects of Salinity and Sodicity on Soil organic Carbon Stocks and Fluxes*. Universidad Nacional de Australia.



ÁPENDICES

Apéndice A. Determinación del porcentaje de humedad y la capacidad de retención de humedad.

Tabla 7. Datos para la determinación del porcentaje de humedad.

Muestra	Masa suelo (m ± 0,0001)g			% humedad	
	1	2	3		
1A	10,185	10,0201	10,6002	12,4628	± 0,2311
1B	10,3719	10,2366	10,5408	8,0847	± 0,0531
1C	10,1989	10,5154	10,5433	13,4750	± 0,2725
2A	10,1786	10,5585	10,6876	16,1146	± 2,2797
2B	10,3343	10,617	10,5332	18,4923	± 0,3838
2C	10,0319	10,0579	10,5282	9,5869	± 0,1506
3A	10,206	10,3907	10,2442	14,8792	± 2,7492
3B	10,224	10,0159	10,0515	19,0528	± 3,8967
3C	10,4094	10,6939	10,2179	26,7780	± 4,1523
CONTROL	10,1393	10,0676	10,1116	11,9800	± 0,3665

Tabla 8. Datos para la determinación del porcentaje de Retención de Humedad.

Muestra	Masa suelo (m ± 0,0001)g			promedio	
	1	2	3		
1A	30,1434	30,1997	30,124	29,5350	± 0,6777
1B	30,373	30,0401	30,2393	28,6807	± 0,1434
1C	30,1859	30,0618	30,203	28,9835	± 1,7506
2A	30,6967	30,3977	30,1904	26,0364	± 1,1868
2B	25,1826	30,4005	25,0259	19,7506	± 6,1559
2C	30,5649	30,3632	30,3252	34,8921	± 1,4244
3A	30,2248	30,7745	30,4393	32,5249	± 2,5023
3B	25,3217	30,0022	30,184	31,3672	± 3,2788
3C	30,0497	30,1503	30,0268	44,9551	± 4,4597
CONTROL	30,4882	30,2447	30,0763	39,3774	± 2,2992



Apéndice B. Determinación de la Conductividad Eléctrica.

Tabla 9. Datos para la determinación de la conductividad eléctrica

Muestra	Sol 1:2 ($\Delta\mu\text{S} \pm 0,1$)			Promedio (μS)	Promedio (mOhms)
	1	2	3		
	1A	216	213		
1B	290	301	293	294,67 \pm 0,30	3,39 \pm 0,30
1C	185,3	188,7	195,4	189,80 \pm 0,30	5,27 \pm 0,30
2A	88,3	89,5	92,2	90,00 \pm 0,30	11,11 \pm 0,30
2B	194,7	208	195,4	199,37 \pm 0,30	5,02 \pm 0,30
2C	185,6	168,6	184,5	179,57 \pm 0,30	5,58 \pm 0,30
3A	70,2	67	99,2	78,80 \pm 0,31	13,08 \pm 0,31
3B	220	130,8	200	183,60 \pm 0,32	5,73 \pm 0,32
3C	160,1	164,2	173,3	165,87 \pm 0,30	6,04 \pm 0,30
CONTROL	169,9	154,8	166,1	163,60 \pm 0,30	6,12 \pm 0,30

Apéndice C. Datos para la determinación del porcentaje de de material orgánica total.

Tabla 10. Determinación del porcentaje de materia orgánica total del suelo.

Muestra	g de Suelo ($m \pm 0,0001$)g			% MOT	%COT
	1	2	3		
1A	0,5144	0,5102	0,5157	0,73 \pm 0,06	0,42 \pm 0,03
1B	0,5185	0,5158	0,516	0,39 \pm 0,07	0,23 \pm 0,04
1C	0,511	0,5069	0,5136	0,49 \pm 0,03	0,28 \pm 0,02
2A	0,52	0,5061	0,5059	0,27 \pm 0,04	0,16 \pm 0,03
2B	0,5151	0,5051	0,5161	0,29 \pm 0,02	0,17 \pm 0,01
2C	0,5174	0,5107	0,5106	1,53 \pm 0,09	0,88 \pm 0,05
3A	0,5106	0,5077	0,5117	0,90 \pm 0,06	0,52 \pm 0,04
3B	0,5112	0,5119	0,5178	0,55 \pm 0,07	0,31 \pm 0,04
3C	0,5109	0,5137	0,5083	1,68 \pm 0,09	0,97 \pm 0,05
CONTROL	0,5053	0,5089	0,515	2,47 \pm 0,09	1,42 \pm 0,05



Tabla 11. Datos de la curva de calibración para la determinación de carbono total por el método de Walkey & Black.

Concentración Real (mg C/ml)	Absorbancia
0	0,024
0,1001084	0,252
0,20021679	0,456
0,30032519	0,669
0,40043358	0,884

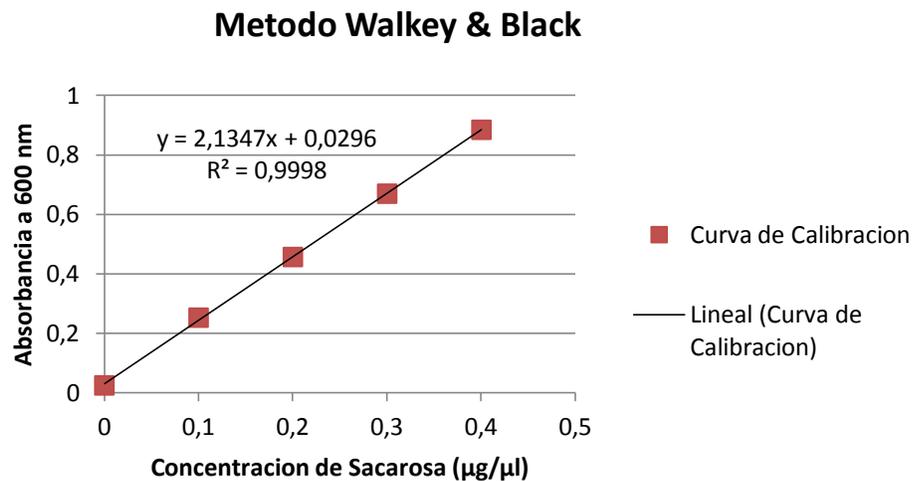


Figura 26. Curva de Calibración para la determinación del carbono total por el método de Walkey & Black.



Apéndice D. Datos para la determinación de la Capacidad de Intercambio Catiónico.

Tabla 12. Datos para la determinación de la Capacidad de intercambio catiónico.

Muestra	g de Suelo (m ± 0,0001)g			CIC (cmol/Kg suelo)		CIC-BT
	1	2	3	Bases Totales		
1A	5,0156	5,0783	5,0464	4,27 ± 0,60		-0,17
1B	5,1159	5,0919	5,3363	4,01 ± 0,28		-0,06
1C	5,0319	5,0113	5,2866	4,58 ± 0,34		0,79
2A	5,1594	5,4119	5,2451	3,85 ± 0,49		2,37
2B	5,0862	5,1019	5,0628	3,76 ± 0,25		2,41
2C	5,1016	5,0746	5,1349	6,48 ± 1,23		5,43
3A	5,4465	5,064	5,0327	5,11 ± 1,17		4,10
3B	5,2535	5,0656	5,0915	5,43 ± 0,63		5,14
3C	5,0112	5,2062	5,1409	15,37 ± 0,95		14,75
CONTROL	5,0215	5,0242	5,1487	13,04 ± 0,44		12,82

Tabla 13. Resultados para la determinación de las bases intercambiables.

Muestra	Bases Intercambiables (CIC/100 g Suelo)								BT (cmol/Kg suelo) Bases Totales
	Na ⁺	K ⁺		Ca ⁺²		Mg ⁺²			
1A	4,36 ± 0,98	8E-02 ± 5E-03	6E-03 ± 1E-04	6E-04 ± 7E-05	4,44 ± 1,87				
1B	4,01 ± 0,11	5E-02 ± 2E-03	1E-03 ± 5E-05	2E-04 ± 1E-04	4,07 ± 3,53				
1C	3,73 ± 0,70	6E-02 ± 4E-03	4E-03 ± 1E-04	1E-04 ± 9E-05	3,79 ± 3,53				
2A	1,42 ± 0,18	6E-02 ± 1E-02	8E-04 ± 5E-05	6E-05 ± 6E-05	1,48 ± 2,23				
2B	1,29 ± 0,28	6E-02 ± 3E-03	1E-03 ± 1E-04	1E-04 ± 2E-04	1,35 ± 2,38				
2C	0,99 ± 0,21	6E-02 ± 3E-03	5E-03 ± 5E-05	7E-05 ± 2E-05	1,05 ± 0,66				
3A	0,94 ± 0,49	7E-02 ± 1E-02	2E-03 ± 8E-05	2E-04 ± 3E-05	1,01 ± 0,94				
3B	0,24 ± 0,07	5E-02 ± 2E-03	3E-03 ± 3E-05	3E-04 ± 5E-05	0,29 ± 0,16				
3C	0,55 ± 0,20	7E-02 ± 3E-03	6E-03 ± 1E-04	4E-04 ± 2E-04	0,62 ± 0,55				
CONTROL	0,14 ± 0,02	7E-02 ± 2E-03	6E-03 ± 7E-05	3E-04 ± 1E-04	0,22 ± 0,17				

AE: Acidez Extractable.



Tabla 14. Datos para la curva de calibración de Potasio.

Concentración Real (ppm)	Absorbancia
0,10554	0,056
0,5277	0,346
1,0554	0,644
1,37202	1,013
1,5831	1,028

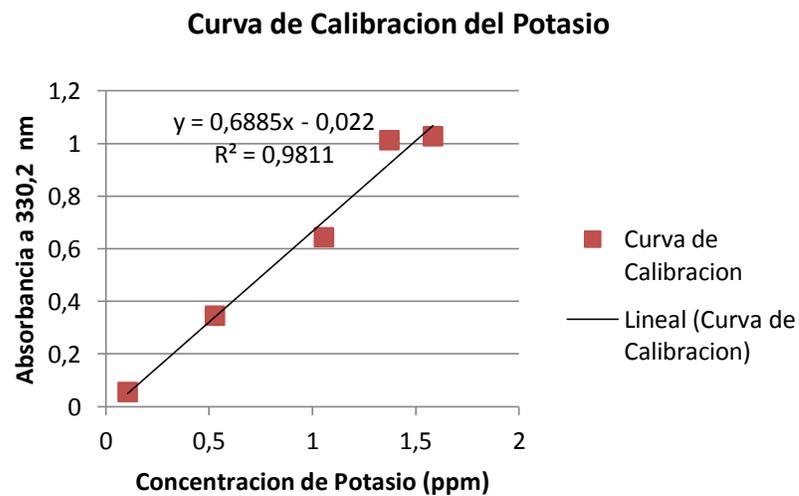


Figura 27. Curva de Calibración para la determinación de la concentración de potasio por emisión atómica.



Tabla 15. Datos para la curva de calibración de Sodio.

Concentración Real (ppm)	Absorbancia
0	0
0,10075	0,274
0,30225	0,513
0,50375	0,804
0,70525	1,073

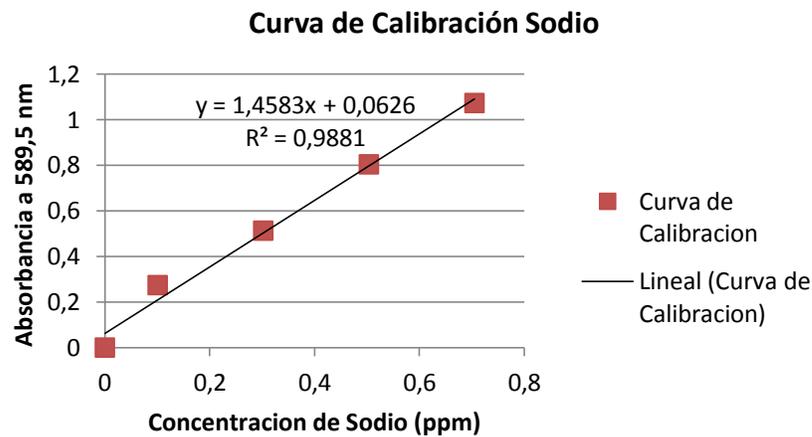


Figura 28. Curva de Calibración para la determinación de la concentración de sodio por emisión atómica.



Apéndice E. Datos para la Determinación de la Respiración Basal.

Tabla 16. Datos para determinación de la Respiración Basal Promedio

Muestra	Masa suelo (m ± 0,0001)g			Respiración basal promedio (mg CO ₂ /hg suelo * h)		
	1	2	3		±	
1A	30,467	30,05	30,0416	10,38	±	0,86
1B	30,4592	30,1106	30,4041	9,11	±	0,54
1C	30,4908	30,7654	30,008	8,55	±	0,89
2A	30,576	30,1067	30,3003	6,34	±	0,65
2B	30,514	30,4371	30,4062	8,85	±	0,89
2C	30,4182	30,1436	30,2418	8,93	±	0,53
3A	30,4291	30,4543	30,6519	6,58	±	0,24
3B	30,8204	30,1604	30,003	7,97	±	0,42
3C	29,9683	30,6064	30,447	7,44	±	0,55
CONTROL	30,4382	30,4642	30,5693	9,91	±	0,64

Tabla 17. Respiración Basal Acumulativa

Muestra	Día 1 mgCO ₂ /kg *d		Día 2 mgCO ₂ /kg *d		Día 3 mgCO ₂ /kg *d		Día 7 mgCO ₂ /kg *d		Día 11 mgCO ₂ /kg *d	
1A	172,68	± 31,36	60,90	± 22,26	20,32	± 4,61	47,66	± 4,08	20,52	± 5,01
1B	191,97	± 17,79	55,57	± 5,33	18,49	± 6,66	25,81	± 11,56	9,76	± 2,94
1C	135,84	± 5,52	67,92	± 2,76	20,13	± 2,20	38,12	± 13,19	13,64	± 6,70
2A	75,70	± 6,39	63,04	± 9,81	16,85	± 8,99	17,41	± 5,92	8,91	± 4,50
2B	125,71	± 10,20	52,79	± 3,34	26,80	± 11,13	43,78	± 2,36	18,12	± 7,04
2C	141,68	± 10,56	63,18	± 14,93	25,30	± 2,32	37,75	± 6,56	8,91	± 5,34
3A	80,26	± 9,89	60,21	± 8,27	33,47	± 3,44	18,04	± 12,54	12,37	± 5,61
3B	90,75	± 16,50	70,84	± 15,72	18,55	± 3,54	42,61	± 4,15	24,81	± 6,07
3C	70,64	± 6,55	63,12	± 10,23	35,26	± 7,61	34,09	± 10,00	19,04	± 5,49
CONTROL	170,72	± 19,91	62,78	± 5,10	31,81	± 4,50	52,05	± 3,74	0,55	± 0,16



Tabla 17. Continuación.

Muestra	Día 16 mgCO ₂ /kg *d		Día 20 mgCO ₂ /kg *d		Día 28 mgCO ₂ /kg *d		Día 31 mgCO ₂ /kg *d		Día 38 mgCO ₂ /kg *d		Día 42 mgCO ₂ /kg *d	
1A	9,15	± 10,11	23,81	± 2,37	19,44	± 2,28	3,88	± 1,29	8,28	± 2,01	10,05	± 5,04
1B	6,00	± 6,74	10,72	± 8,93	20,43	± 3,71	3,71	± 0,58	9,21	± 1,90	5,50	± 1,86
1C	10,22	± 12,42	18,95	± 4,24	9,03	± 4,50	5,20	± 2,18	13,78	± 2,11	6,77	± 1,19
2A	11,76	± 14,37	7,35	± 3,95	21,64	± 2,21	7,58	± 1,09	15,05	± 3,73	7,78	± 2,75
2B	6,78	± 8,02	28,45	± 1,42	21,55	± 6,62	8,43	± 7,48	12,31	± 8,12	4,81	± 1,02
2C	6,91	± 7,98	18,85	± 1,69	21,68	± 2,46	7,89	± 1,66	11,77	± 3,60	5,72	± 0,59
3A	9,81	± 11,51	15,53	± 3,18	14,04	± 3,34	6,94	± 0,97	6,75	± 0,80	8,18	± 1,10
3B	6,93	± 7,80	23,91	± 1,84	13,48	± 3,72	5,50	± 0,92	10,18	± 0,82	6,60	± 3,14
3C	5,60	± 6,57	19,74	± 3,27	14,44	± 4,32	12,77	± 1,49	13,33	± 1,80	3,84	± 1,14
CONTROL	3,88	± 3,90	23,56	± 2,28	22,03	± 6,57	6,95	± 3,35	12,66	± 4,74	4,80	± 2,11

Apéndice F. Datos para la determinación de la Actividad Ureásica.

Tabla 18. Determinación de la Actividad Ureásica.

Muestra	masa de suelo (m ± 0,0001) g					Actividad Ureásica		
	1	2	3	b1	b2	µg N- NH ₄ / Kg suelo *h		
1A	1,0694	1,1037	1,0941	1,0814	1,0718	5,48	±	0,32
1B	1,1624	1,0319	1,0405	1,0299	1,0341	24,61	±	7,32
1C	1,0248	1,0972	1,0613	1,0357	1,0169	3,19	±	2,01
2A	1,0173	1,0276	1,0538	1,017	1,023	7,79	±	6,40
2B	1,0132	1,0688	1,0182	1,104	1,0578	1,54	±	1,56
2C	1,0201	1,0555	1,0064	1,0798	1,0621	8,77	±	1,36
3A	1,055	1,037	1,1116	1,0938	1,0795	3,38	±	0,13
3B	1,1324	1,0116	1,1051	1,0393	1,011	6,13	±	0,67
3C	1,0767	1,0802	1,0638	1,0301	1,0375	3,52	±	0,69
CONTROL	1,0063	1,0327	1,0714	1,0252	1,0023	10,52	±	0,26



Tabla 19. Datos para la Curva de Calibración de la Actividad Ureásica.

Concentración $\mu\text{g N- NH}_4/\text{ ml}$	Absorbancia
0	0,031
0,6755	0,35
1,3512	0,72
2,0267	1,129
2,7023	1,465
3,3779	1,899

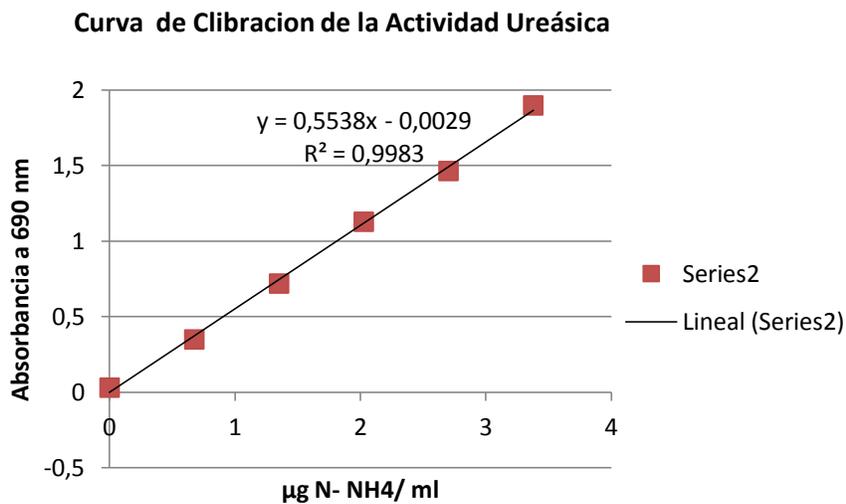


Figura 29. Curva de Calibración ara la determinación de la Actividad Ureásica.



Apéndice G. Datos para la determinación de la Biomasa Microbiana.

Tabla 20. Determinación de la biomasa microbiana

Muestra	Masa suelo (m ± 0,0001)g			mgCO ₂ /100g suelo x h			Biomasa (mg C/Kg Suelo)
	1	2	3	1	2	3	
1A	30,0409	30,0084	30,0418	2,25	1,88	1,12	14,303 ± 3,399
1B	30,0163	30,0447	30,0026	1,40	2,09	0,35	10,479 ± 5,061
1C	30,0403	30,2709	30,0767	1,87	2,23	1,12	14,248 ± 3,369
2A	30,0465	30,0128	30,0605	0,30	0,04	0,15	1,361 ± 0,747
2B	30,0431	30,0293	30,0493	2,44	2,79	1,74	19,017 ± 3,167
2C	30,0586	30,0678	30,0414	1,50	0,75	1,00	8,861 ± 2,262
3A	30,0558	30,0465	30,0413	1,25	0,75	0,75	7,505 ± 1,809
3B	30,1421	30,0167	30,0738	2,09	1,75	3,49	19,939 ± 5,690
3C	30,0594	30,005	30,0461	1,12	2,25	1,50	13,284 ± 3,407
CONTROL	30,1463	30,0429	30,0139	3,48	2,09	2,79	22,785 ± 3,779

Apéndice H. Análisis Estadístico de la Humedad empleando Statgraphic Plus.

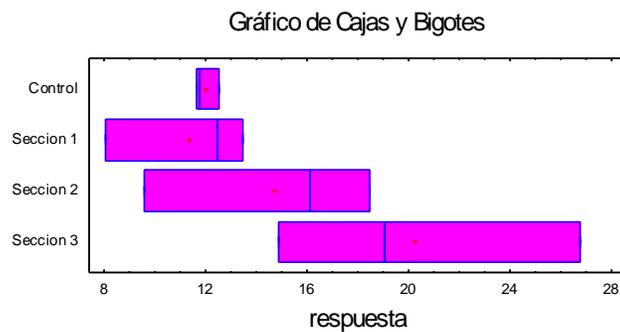


Figura 30. Diagrama de Cajas y Bigotes para la Humedad

Tabla 21. Análisis de Varianza para la Humedad

Análisis de la Varianza					
Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	147,819	3	49,2729	2,98	0,0964
Intra grupos	132,289	8	16,5361		
Total (Corr.)	280,107	11			



El F-ratio, que en este caso es igual a 2,97972, es el cociente de la estimación entre grupos y la estimación dentro de los grupos. Puesto que el p-valor del test F es superior o igual a 0,05, no hay diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 4 variables a un 95,0%.

Apéndice I. Análisis Estadístico de la Capacidad de Retención de Humedad empleando Statgraphic Plus.

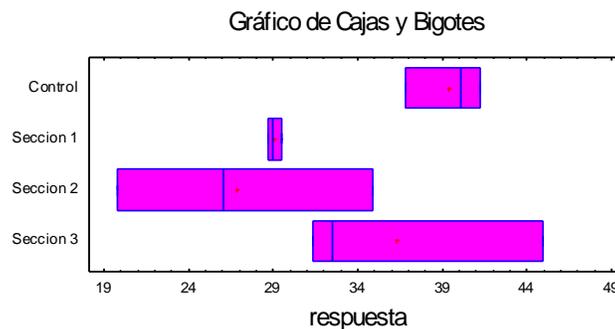


Figura 31. Diagrama de Cajas y Bigotes para la Capacidad de Retención de Humedad

Tabla 22. Análisis de Varianza para la Capacidad de Retención de Humedad

Análisis de la Varianza					
Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	312,532	3	104,177	3,47	0,0708
Intra grupos	240,174	8	30,0217		
Total (Corr.)	552,706	11			

El F-ratio, que en este caso es igual a 3,47007, es el cociente de la estimación entre grupos y la estimación dentro de los grupos. Puesto que el p-valor del test F es superior o igual a 0,05, no hay diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 4 variables a un 95,0%.



Apéndice J. Análisis Estadístico del pH empleando Statgraphic Plus.

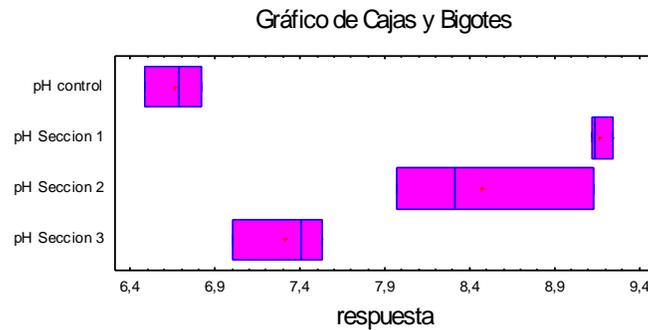


Figura 32. Diagrama de Cajas y bigotes para el pH

Tabla 23. Tabla de Análisis de Varianza para el pH

Análisis de la Varianza					
Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	11,4338	3	3,81125	32,63	0,0001
Intra grupos	0,934333	8	0,116792		
Total (Corr.)	12,3681	11			

El F-ratio, que en este caso es igual a 32,6329, es el cociente de la estimación entre grupos y la estimación dentro de los grupos. Puesto que el p-valor del test F es inferior a 0,05, hay diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 4 variables a un nivel de confianza del 95,0%.

Tabla 24. Contraste Múltiple de Rango para el pH

Método: 95,0 porcentaje LSD			
	Frec.	Media	Grupos homogéneos
pH control	3	6,66333	X
pH Seccion 3	3	7,31333	X
pH Seccion 2	3	8,47	X
pH Seccion 1	3	9,17	X

Contraste	Diferencias	+/- Límites
pH control - pH Seccion 1	*-2,50667	0,64346
pH control - pH Seccion 2	*-1,80667	0,64346
pH control - pH Seccion 3	*-0,65	0,64346
pH Seccion 1 - pH Seccion 2	*0,7	0,64346
pH Seccion 1 - pH Seccion 3	*1,85667	0,64346
pH Seccion 2 - pH Seccion 3	*1,15667	0,64346

* indica una diferencia significativa.



El asterisco que se encuentra al lado de los 6 pares, indica que éstos muestran diferencias estadísticamente significativas a un nivel de confianza 95,0%. En la parte superior de la página, se identifican 4 grupos homogéneos según la alineación del signo X en la columna. Dentro de cada columna, los niveles que tienen signo X forman un grupo de medias entre las cuales no hay diferencias estadísticamente significativas.

Apéndice K. Análisis estadístico de la CIC empleando Statgraphic Plus.

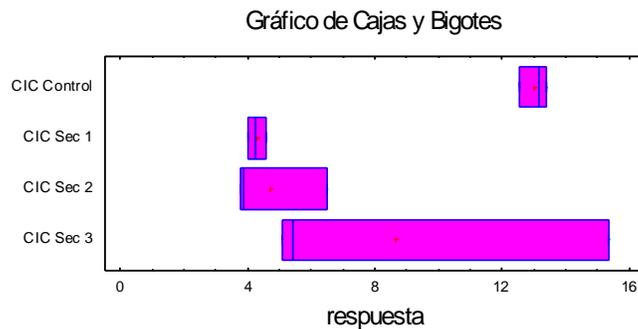


Figura 34. Diagrama de Cajas y Bigotes para la CIC

Tabla 25. Análisis de Varianza para la CIC

Análisis de la Varianza					
Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	150,177	3	50,0589	5,46	0,0245
Intra grupos	73,3866	8	9,17332		
Total (Corr.)	223,563	11			

El F-ratio, que en este caso es igual a 5,45701, es el cociente de la estimación entre grupos y la estimación dentro de los grupos. Puesto que el p-valor del test F es inferior a 0,05, hay diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 4 variables a un nivel de confianza del 95,0%.



Tabla 26. Contraste Múltiple de Rango para la CIC.

Método: 95,0 porcentaje LSD			
	Frec.	Media	Grupos homogéneos
CIC Sec 1	3	4,28667	X
CIC Sec 2	3	4,69667	X
CIC Sec 3	3	8,63667	XX
CIC Control	3	13,04	X

Contraste	Diferencias	+/- Límites
CIC Control - CIC Sec 1	*8,75333	5,70268
CIC Control - CIC Sec 2	*8,34333	5,70268
CIC Control - CIC Sec 3	4,40333	5,70268
CIC Sec 1 - CIC Sec 2	-0,41	5,70268
CIC Sec 1 - CIC Sec 3	-4,35	5,70268
CIC Sec 2 - CIC Sec 3	-3,94	5,70268

* indica una diferencia significativa.

El asterisco que se encuentra al lado de los 2 pares, indica que éstos muestran diferencias estadísticamente significativas a un nivel de confianza 95,0%. En la parte superior de la página, se identifican 2 grupos homogéneos según la alineación del signo X en la columna. Dentro de cada columna, los niveles que tienen signo X forman un grupo de medias entre las cuales no hay diferencias estadísticamente significativas.

Apéndice L. Análisis estadístico de la concentración de las bases intercambiables empleando Statgraphic Plus.

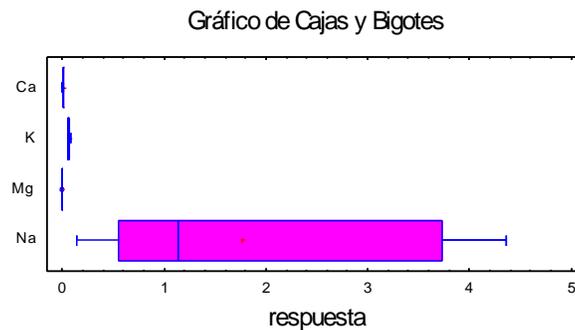


Figura 34. Diagrama de Cajas y Bigotes para las bases intercambiables.

Tabla 27. Análisis de Varianza para las bases intercambiables

Análisis de la Varianza					
Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	22,8687	3	7,6229	11,58	0,0000
Intra grupos	23,7044	36	0,658457		
Total (Corr.)	46,5731	39			



El F-ratio, que en este caso es igual a 11,5769, es el cociente de la estimación entre grupos y la estimación dentro de los grupos. Puesto que el p-valor del test F es inferior a 0,05, hay diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 4 variables a un nivel de confianza del 95,0%.

Tabla 28. Contraste Múltiple de Rango para las bases intercambiables

Método: 95,0 porcentaje LSD			
	Frec.	Media	Grupos homogéneos
Mg	10	0,00021806	X
Ca	10	0,00343642	X
K	10	0,0615195	X
Na	10	1,767	X
Contraste	Diferencias		+/- Límites
Ca - K	-0,0580831		0,735983
Ca - Mg	0,00321836		0,735983
Ca - Na	*-1,76356		0,735983
K - Mg	0,0613015		0,735983
K - Na	*-1,70548		0,735983
Mg - Na	*-1,76678		0,735983

* indica una diferencia significativa.

El asterisco que se encuentra al lado de los 3 pares, indica que éstos muestran diferencias estadísticamente significativas a un nivel de confianza 95,0%. En la parte superior de la página, se identifican 2 grupos homogéneos según la alineación del signo X en la columna. Dentro de cada columna, los niveles que tienen signo X forman un grupo de medias entre las cuales no hay diferencias estadísticamente significativas.

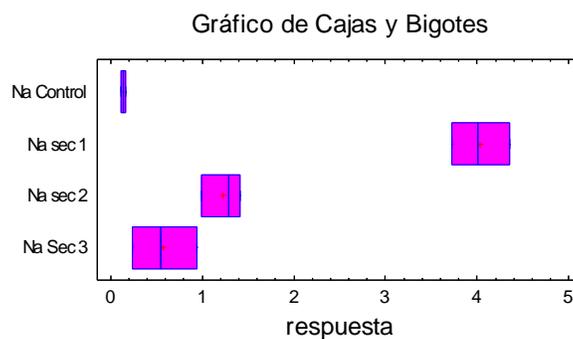


Figura 35. Diagrama de Cajas y Bigotes para el sodio.



Tabla 29. Análisis de Varianza para el sodio

Análisis de la Varianza					
Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	27,5504	3	9,18348	134,11	0,0000
Intra grupos	0,547804	8	0,0684755		
Total (Corr.)	28,0982	11			

El F-ratio, que en este caso es igual a 134,113, es el cociente de la estimación entre grupos y la estimación dentro de los grupos. Puesto que el p-valor del test F es inferior a 0,05, hay diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 4 variables a un nivel de confianza del 95,0%.

Tabla 30. Contraste Múltiple de Rango para el sodio

Método: 95,0 porcentaje LSD			
	Frec.	Media	Grupos homogéneos
Na Control	3	0,14175	X
Na Sec 3	3	0,57493	X
Na sec 2	3	1,23093	X
Na sec 1	3	4,03191	X

Contraste	Diferencias	+/- Límites
Na Control - Na sec 1	*-3,89016	0,492701
Na Control - Na sec 2	*-1,08918	0,492701
Na Control - Na Sec 3	-0,43318	0,492701
Na sec 1 - Na sec 2	*2,80098	0,492701
Na sec 1 - Na Sec 3	*3,45698	0,492701
Na sec 2 - Na Sec 3	*0,656	0,492701

* indica una diferencia significativa.

El asterisco que se encuentra al lado de los 5 pares, indica que éstos muestran diferencias estadísticamente significativas a un nivel de confianza 95,0%. En la parte superior de la página, se identifican 3 grupos homogéneos según la alineación del signo X en la columna. Dentro de cada columna, los niveles que tienen signo X forman un grupo de medias entre las cuales no hay diferencias estadísticamente significativas.



Apéndice M. Análisis Estadístico del % COT empleando Statgraphic Plus.

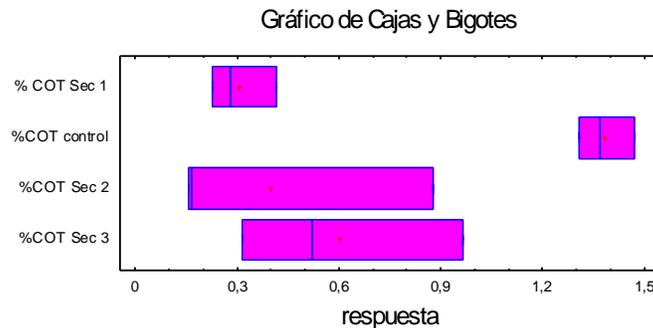


Figura 36. Diagrama de Cajas y Bigotes para %COT

Tabla 31. Análisis de Varianza para %COT

Análisis de la Varianza					
Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	2,15457	3	0,71819	9,62	0,0050
Intra grupos	0,597482	8	0,0746853		
Total (Corr.)	2,75205	11			

El F-ratio, que en este caso es igual a 9,61622, es el cociente de la estimación entre grupos y la estimación dentro de los grupos. Puesto que el p-valor del test F es inferior a 0,05, hay diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 4 variables a un nivel de confianza del 95,0%.

Tabla 32. Contraste Múltiple de Rango para %COT

Método: 95,0 porcentaje LSD			
	Frec.	Media	Grupos homogéneos
% COT Sec 1	3	0,307389	X
%COT Sec 2	3	0,400002	X
%COT Sec 3	3	0,59939	X
%COT control	3	1,38333	X
Contraste		Diferencias	+/- Límites
% COT Sec 1 - %COT control		*-1,07594	0,514556
% COT Sec 1 - %COT Sec 2		-0,0926135	0,514556
% COT Sec 1 - %COT Sec 3		-0,292002	0,514556
%COT control - %COT Sec 2		*0,983331	0,514556
%COT control - %COT Sec 3		*0,783943	0,514556
%COT Sec 2 - %COT Sec 3		-0,199388	0,514556

* indica una diferencia significativa.

El asterisco que se encuentra al lado de los 3 pares, indica que éstos muestran diferencias estadísticamente significativas a un nivel de confianza 95,0%. En la parte superior de la página, se identifican 2 grupos homogéneos según la alineación del signo X en la columna. Dentro de cada columna, los niveles que tienen signo X forman un grupo de medias entre las cuales no hay diferencias estadísticamente significativas.



Apéndice N. Análisis Estadístico para la Respiración Basal Promedio empleando Statgraphic Plus.

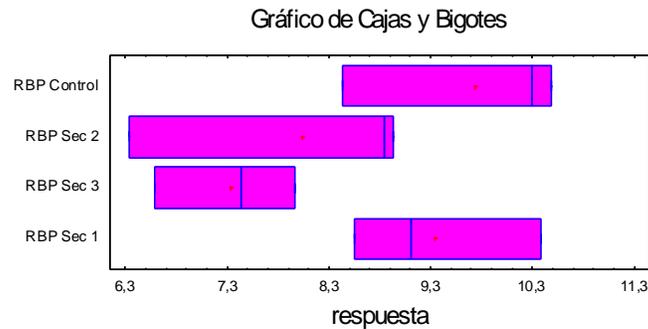


Figura 37. Diagrama de Cajas y Bigotes para la respiración basal promedio

Tabla 33. Análisis de Varianza para la respiración basal promedio

Análisis de la Varianza					
Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	11,3484	3	3,78281	3,14	0,0869
Intra grupos	9,63587	8	1,20448		
Total (Corr.)	20,9843	11			

El F-ratio, que en este caso es igual a 3,14061, es el cociente de la estimación entre grupos y la estimación dentro de los grupos. Puesto que el p-valor del test F es superior o igual a 0,05, no hay diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 4 variables a un 95,0%.

Apéndice O. Análisis Estadístico para la Actividad Ureásica empleando Statgraphic Plus.

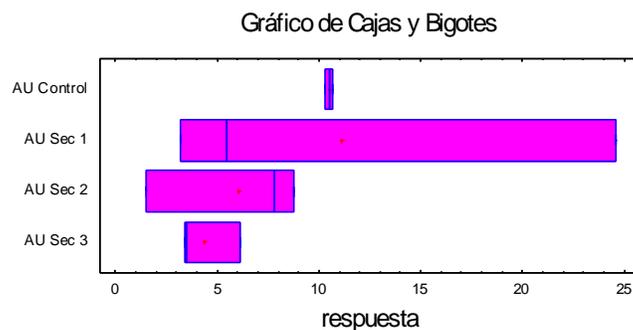


Figura 38. Diagrama de Cajas y Bigotes para la Actividad Ureásica



Tabla 34. Análisis de Varianza para la Actividad Ureásica

Análisis de la Varianza					
Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	92,5525	3	30,8508	0,69	0,5855
Intra grupos	312,194	7	44,5992		
Total (Corr.)	404,747	10			

El F-ratio, que en este caso es igual a 0,691736, es el cociente de la estimación entre grupos y la estimación dentro de los grupos. Puesto que el p-valor del test F es superior o igual a 0,05, no hay diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 4 variables a un 95,0%.

Apéndice P. Análisis Estadístico para la Biomasa Microbiana empleando Statgraphic Plus.

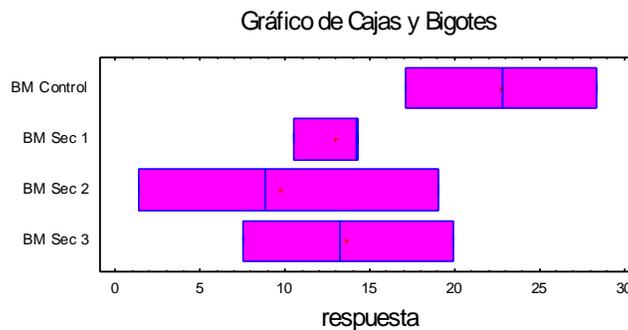


Figura 39. Diagrama de Cajas y Bigotes para la Biomasa Microbiana

Tabla 30. Análisis de Varianza para la Biomasa Microbiana

Análisis de la Varianza					
Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	281,759	3	93,9197	2,44	0,1392
Intra grupos	307,825	8	38,4781		
Total (Corr.)	589,584	11			

El F-ratio, que en este caso es igual a 2,44086, es el cociente de la estimación entre grupos y la estimación dentro de los grupos. Puesto que el p-valor del test F es superior o igual a 0,05, no hay diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 4 variables a un 95,0%.



Apéndice Q. Análisis estadístico para el Coeficiente metabólico (qCO_2) empleando Statgraphic Plus.

Tabla 36. Datos para la Determinación del coeficiente Metabólico.

MUESTRA	qCO_2 (h^{-1})
1A	0,0294 ± 0,0091
1B	0,0229 ± 0,0138
1C	0,0178 ± 0,0073
2A	0,1607 ± 0,0999
2B	0,0162 ± 0,0040
2C	0,0312 ± 0,0105
3A	0,0303 ± 0,0088
3B	0,0143 ± 0,0050
3C	0,0196 ± 0,0083
CONTROL	0,0183 ± 0,0060



Figura 40. Diagrama de Cajas y Bigotes para el coeficiente metabólico.

Tabla 37. Análisis de Varianza para el coeficiente metabólico.

Análisis de la Varianza					
Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	0,00483493	3	0,00161164	0,98	0,4471
Intra grupos	0,0130933	8	0,00163666		
Total (Corr.)	0,0179282	11			

El F-ratio, que en este caso es igual a 0,984717, es el cociente de la estimación entre grupos y la estimación dentro de los grupos. Puesto que el p-valor del test F es superior o igual a 0,05, no hay diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 4 variables a un 95,0%.



ANEXOS



Figura 41. Terreno de la empresa dispuesto para la ubicación de la escoria, arena de sílice, restos de moldes, chatarra, ladrillos refractarios.



Figura 42. Punto de Muestreo de la sección 1A. Dispersión de la materia orgánica en la superficie (color oscuro), acumulación de arcillas en la zona inferior. Alta permeabilidad, el espacio se llena de agua.



Figura 43. Muestra de la sección 3C. Presencia de horizontes definidos. Estabilidad en la estructura.



Figura 44. Estancamiento de agua por baja permeabilidad del sector.