



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD EXPERIMENTAL DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA



**ESTUDIO DE LOS PARÁMETROS DE HUMIFICACIÓN
EN SUELOS CONTAMINADOS CON RESIDUOS
SÓLIDOS URBANOS**

Elaborado por: Br Zerpa S. Joan Y.

Bárbula, mayo 2012



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD EXPERIMENTAL DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA



ESTUDIO DE LOS PARÁMETROS DE HUMIFICACIÓN EN SUELOS CONTAMINADOS CON RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

*Trabajo Especial de Grado presentado como credencial para Optar al Título de
Licenciada en Química.*

Autor: Br Zerpa S. Joan Y.

Tutor: Profesor Armado, Arnaldo.

Bárbula, mayo 2012

DEDICATORIA

Con el infinito amor que emane de mi corazón dedico este trabajo a todos y cada uno de los seres que me apoyaron desde mi primera inclinación de ser LICENCIADA EN QUÍMICA hasta los que me apoyan hoy que lo vemos hecho realidad; de manera especial quiero mencionar a: DIOS, mis PADRES, mis HERMANAS, mis SOBRINOS y mi TUTOR....

“Aferrarse a un sueño es hacerlo realidad y tener paciencia es verlo cumplirse”

AGRADECIMIENTOS

Cuando se tiene Fe inquebrantable suceden cosas que para muchos parecen imposibles... Con júbilo, amor y honor hoy quiero dar Gracias:

A Dios por darme el regalo de conocerle, amarle y confiar en Él y permitirme vivir cada una de las experiencias en la Universidad de Carabobo y llegar al cierre de este ciclo de mi vida.

A mis padres por todo cuanto me han dado, por darme palabra en los momentos difíciles y por apoyarme en cada minuto de mi vida y de todos mis estudios, gracias por hacer de mi lo que hoy soy con lo mejor que han podido darme.

A mis hermanas Lenys y Anggi y mis hermanos Rubén y Leo, por ser mis bastones en todo momento, por su impulso, por confiar en mí, por no dejarme desmayar y por ser mi complemento, por acompañarme siempre y por todo su infinito amor que junto con el de mis padres son el combustible principal que mueve mi vida.

A mis sobrinos Brandito y Anggita, porque con su sonrisa cada día iluminan mi vida y reconfortan mi espíritu, gracias porque me han dado palabra, aliento, fuerza, y apoyo.

A mi Tutor, profesor Arnaldo por confiar en mí y darme la oportunidad y el honor de realizar mi TEG junto con él, por tener paciencia y tener siempre una respuesta, una buena corrección, un apoyo, una solución, y por el tiempo de su vida compartido conmigo a fin de culminar con éxito esta investigación.

A toda mi familia, mi abuela, mis tíos, mis tías, primos, primas, por estar siempre pendiente y apoyando cada paso de mi vida y mi carrera.

A mi novio Eduardo Nunes, has llegado a mi vida simplemente en el tiempo perfecto, sin importar las limitaciones te has unido mucho a mí y me has ayudado, me has apoyado, estuviste pendiente cada día de nuestros "hijitos" hasta hoy que me has ayudado a culminar, gracias por tu amor mi S2.

A mis profesores, comenzando por el profesor Indalecio quien fue mi primer impulso a comprender la química, hasta cada uno de mis profesores de la universidad que compartieron conmigo sus conocimientos, muy especialmente quiero agradecer al profesor Franzyuri Hernández, a mi "Súper" profesor (Ronald Blanco), profesora Xiomara Cardozo, profesora Julissa Brizuela , y profesor Arnaldo Armado.

A las asistentes de laboratorio Beatriz, Lesbia, Dioleidi, y Sikleb por su colaboración al prestarme sus equipos, instrumentos, instalaciones y su amistad para llevar a cabo mis experimentos de la manera más amena posible.

A mis eternos amigos y hermanos del colegio, con quienes no pierdo amistad ni comunicación, por su amor, su apoyo, y estar siempre allí con una sonrisa que reconforta mi Espíritu, en especial quiero agradecer a mi TADFE (Juan Manuel), Sedavid (Jose David), Osneidy, Teti, Cesar, Juan Antonio, Luisana, Angie, Daniela y Pecas.

A mis amigos y compañeros de estudios, juntos vivimos cosas inolvidables, y de allí salieron grandes y maravillosas amistades para mí, gracias por ser parte de mi vida y por compartir tantas vivencias conmigo desde el inicio de la carrera, hasta los que voy conociendo ahorita al final, especialmente quiero agradecer a mi Ángel (Jhonnán), mis amis (Liguiely y Rebeca), Carlos, Andrea, Leito, Leonardo, Sikleb, Georgina, Ángel Molina, María de los Ángeles, Caterin, Marlius, Marijo, Marceli, Anyo, Bárbara, Mariorly, Miguel, Eduardo, Kerli, Keyla y Chicha.

A mis madres y padres espirituales Carmen, Cida, Margarita, Mari, José, Tony y Wagner por bendecirme con su amor y sus oraciones.

A mis amigos de la vida, como yo les llamo, seres que he conocido en distintas partes y con los que he compartido que a pesar de la distancia siempre están pendiente de mí y de mi carrera, María Alejandra, Nevis, Jeniree, Dessiree, Orleny, Raquel, Luindy, Nazaireth, Elías y Jhon.

A todos los seres que han pasado por mi vida y se han relacionado conmigo y con mi carrera, dando una sonrisa, un apoyo, un transporte, una comida, una

oración, un pensamiento positivo, un ejemplo, un impulso, una confianza, y una demostración de amor que me ha ayudado y al fin de culminar esta etapa cuyo motor desde siempre fue la Fe!



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD EXPERIMENTAL DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA



ESTUDIO DE LOS PARÁMETROS DE HUMIFICACIÓN EN SUELOS CONTAMINADOS CON RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

Autor: Br Zerpa S. Joan Y.

Tutor: Profesor Armado, Arnaldo.

RESUMEN

El contenido de materia orgánica en un suelo es considerado como indicador su calidad, es por ello que en la presente investigación se planteó estudiar la materia orgánica y los parámetros de humificación en muestras de suelo contaminadas con residuos sólidos urbanos en el vertedero clausurado “El Ereigüe” en San Joaquín Edo. Carabobo-Venezuela. Se caracterizaron los suelos determinando algunas propiedades físicas y químicas, además se realizó la determinación de carbono orgánico total, la extracción y fraccionamiento del carbono orgánico mediante el método de separación por diferencia de reactividad en ácidos y bases, obteniendo el carbono extraíble (CEXT), y de allí las fracciones de los ácidos húmicos (CAH), ácidos fúlvicos (CAF) y sustancias no húmicas (CSNH). La cuantificación del contenido de carbono orgánico presente en cada una de las fracciones se realizó empleando el método de oxidación vía húmeda, con el fin de obtener los parámetros de humificación (índice de humificación, grado de humificación, razón de humificación y relación CAH/CAF). Del análisis fisicoquímico se obtuvo que el suelo posee un pH que va de ligeramente ácido a ligeramente alcalino (6-8), se puede considerar como un suelo no salino y posee una capacidad de intercambio catiónico media. En general, se observó que el contenido de materia orgánica total (COT) en las muestras fue bajo debido a que se ve favorecido el proceso de mineralización y existe una posible lixiviación hacia el subsuelo. Los porcentajes de carbono en la fracción de los ácidos húmicos

mostraron una tendencia a ser mayor que para la fracción de los ácidos fúlvicos. Los valores de la relación CAH/CAF para la mayoría de las muestras resultaron ser mayor a la unidad lo que indica que se trata de muestras de suelo con materia orgánica evolucionada. El carbono orgánico total presentó correlación lineal significativa con todos los parámetros de humificación en estudio y con las fracciones de CEXT, CAH, CSNH. El carbono extraíble presentó correlación lineal significativa con CAH, CAF, CSNH, IH, GH, y Relación CAH/CAF. El carbono de los ácidos húmicos mostró correlación significativa con CSNH, IH, GH, Relación CAH/CAF. El índice de humificación mostró correlación lineal negativa significativa con el GH y Relación CAH/CAF. El grado de humificación mostró correlación significativa con Relación CAH/CAF. De los parámetros de humificación estudiados el que arrojó mejores resultados como indicador de la calidad de la materia orgánica del suelo fue la relación CAH/CAF ya que mostró correlaciones significativas y casi perfectas con la mayoría de las fracciones orgánicas obtenidas.

Palabras clave: fraccionamiento de materia orgánica, carbono orgánico extraíble, relación de carbono de ácidos húmicos/ácidos fúlvicos, sustancias húmicas.



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD EXPERIMENTAL DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA



STUDY OF HUMIFICATION PARAMETERS IN CONTAMINATED SOILS WITH URBAN SOLID RESIDUES

Autor: Br. Zerpa S. Joan Y.

Tutor: Profesor Armado, Arnaldo.

ABSTRACT

The content of soil organic matter is considered as a measure of its quality, these is the reason because in this research was studied the organic matter and humification parameters in soil samples contaminated with solid waste in the landfill closed "The Ereigüe "in San Joaquin Edo. Carabobo, Venezuela. The soils were characterized by determining the physical and chemical characteristics. The determination of total organic carbon was performed, as well as extraction and fractionation of organic carbon by method based in difference reactivity; the extractable carbon (CEXT), humic acids (CAH), fulvic acids (CAF) and not humic substances (CSNH) fractions were obtained. For to obtain the parameters of humification (humification index, humification degree, humification ratio and relation CAH/ CAF), the content of organic carbon present in each fractions of organic matter was quantified through the wet oxidation method. Physical and chemical analysis showed that the soil have a pH range from slightly acidic to slightly alkaline, could be considered a non-saline soil and showed a medium cation exchange capacity. Generally, the carbon content of humic acids fraction were higher than the fulvic acids fraction. The values of relation C_{AH} / C_{AF} for most samples were found to be greater than unity, it is indicates evolution soil organic matter. Total organic carbon presents linear significant correlations with all humification parameters studied and CEXT, CAH, CSNH fractions. The

extractable carbon showed significant correlations with AH, AF, SNH, IH, GH, and relation C_{AH}/C_{AF} . Humic acids showed significant correlation with SNH, IH, GH, Relationship C_{AH} / C_{AF} . The humification index showed significant negative linear correlation with the GH and Relationship C_{AH} / C_{AF} . The degree of humification ratio showed significant correlation with C_{AH} / C_{AF} .

Keywords: organic matter fractionation, humic acids, fulvic acids, humic substances, municipal solid waste.

ÍNDICE GENERAL

	Página
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I. Formulación del problema	3
I.1. Planteamiento del problema	3
I.2. Objetivos de la investigación	4
I.2.1. General	4
I.2.2. Específicos	4
I.3. Justificación	5
CAPITULO II. Marco teórico	6
II.1. Antecedentes	6
II.2. Fundamentos Básicos	11
II.2.1. Materia orgánica del suelo	11
II.2.2. Composición química de la materia orgánica del suelo	12
II.2.3. Humus	13
II.2.4. División de las sustancias húmicas según su solubilidad	14
II.2.5. Funciones del humus en el suelo	16
II.2.6. Evaluación de la materia orgánica del suelo	17
II.2.7. Carbono orgánico en suelos y su determinación por el método colorimétrico de Walkley y Black	18
II.2.8. Residuos sólidos urbanos	19
CAPITULO III. Marco metodológico	21
III.1. Ubicación, muestreo y preparación de las muestras	21
III.1.1 Determinación del contenido de Humedad	23
III.1.2 Determinación de pH y conductividad eléctrica, CE	23
III.1.3 Determinación capacidad de intercambio catiónico CIC	23

III.2. Determinación de carbono total en suelo	24
III.3. Extracción y fraccionamiento de las sustancias húmicas	30
III.4. Determinación del carbono orgánico en las fracciones extraídas	32
III.5. Análisis estadístico de los resultados obtenidos	32
CAPITULO IV. Análisis de resultados	34
IV.1. Determinación de las propiedades física y químicas	34
IV.2. Carbono orgánico total, materia orgánica, y fraccionamiento de la materia orgánica	36
IV.3. Parámetros de humificación	46
IV.4. Correlación del contenido de carbono orgánico total con cada una de sus fracciones y parámetros de humificación	50
CAPITULO V. Conclusiones y recomendaciones	49
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	51
APÉNDICES	57

ÍNDICE DE FIGURAS

Contenido	Página
Figura 1. Fases y componentes fundamentales del suelo	11
Figura 2. Propuesta de estructura química promedio del ácido fúlvico	14
Figura 3. Propuesta de estructura química promedio de un ácido húmico	15
Figura 4. Esquema general de la ubicación de las muestras	21
Figura 5. Patrones de glucosa tratados mediante el método Walkley-Black	25
Figura 6. Muestras de suelo en agitación con de NaOH/Na ₄ P ₂ O ₇ 0,1 M	26
Figura 7. Filtración por gravedad de las muestras de suelos tratadas con NaOH/Na ₄ P ₂ O ₇ 0,1 M	26
Figura 8. Filtración al vacío para separar las huminas del extracto alcalino	27
Figura 9. Separación de ácidos húmicos en las muestras tratadas	27
Figura 10. Separación de ácidos fúlvicos y sustancias no húmicas en las muestras tratadas, por medio de una columna de PVP	27
Figura 11. Esquema de metodología descrita por Ciavatta y col. (1991) ligeramente modificado	29
Figura 12. Alícuotas de cada una de las fracciones CE, AH, AF, SNH antes de evaporar	32
Figura 13. Determinación de carbono en las fracciones CE, AH, AF, SNH presente en las muestras de suelo tratadas	31
Figura 14. Distribución del contenido de materia orgánica en las muestras estudiadas, contaminadas y no contaminadas con desechos sólidos urbanos	38
Figura 15. Distribución del contenido carbono en la fracción de ácidos húmicos en las muestras estudiadas, contaminadas y no contaminadas con desechos sólidos urbanos	41

Figura 16. Distribución del contenido carbono en la fracción de ácidos fúlvicos en las muestras estudiadas, contaminadas y no contaminadas con desechos sólidos urbanos	43
Figura 17. Distribución del contenido carbono en la fracción de sustancias no húmicas en las muestras estudiadas, contaminadas y no contaminadas con desechos sólidos urbanos	44
Figura 18. Curva de calibración de carbono	61

ÍNDICE DE TABLAS

Contenido	Página
Tabla 1. Principales grupos de materiales orgánicos del suelo	12
Tabla 2. Coordenadas de cada una de las muestras de suelo recolectadas	22
Tabla 3. Métodos de análisis usados en el Laboratorio para el estudio físico-químico	23
Tabla 4. Elaboración de soluciones patrón para la curva de calibración	25
Tabla 5. Caracterización fisicoquímica de las muestras de suelo estudiadas	35
Tabla 6. Carbono orgánico total (COT), materia orgánica total (MOT) determinados por el método de Walkley-Black en las muestras de suelos estudiadas	37
Tabla 7. Contenido de carbono orgánico y materia orgánica en cada una de las fracciones extraídas	40
Tabla 8. Parámetros de humificación en las muestras de suelos estudiadas	45
Tabla 9. Correlación entre carbono orgánico total, carbono extraíble, carbono en las fracciones y parámetros de humificación es muestras de suelo contaminadas y no contaminadas con desechos sólidos urbanos	47
Tabla 10. Datos para la curva de calibración realizada	57
Tabla 11. Datos para determinación de carbono orgánico total	57
Tabla 12. Datos para determinación del fraccionamiento orgánico	58

INTRODUCCIÓN

El suelo conforma un recurso no renovable que desempeña importantes funciones para la vida del hombre, entre las cuales se puede destacar la agricultura, construcción de viviendas y vías de comunicación terrestre, disposición de desechos sólidos, entre otros. El suelo está formado por una serie de componentes que le dan características específicas y esenciales para determinar sus usos; la materia orgánica del suelo es parte fundamental del mismo y se podría decir que es toda sustancia del suelo que contiene carbono en su constitución.

En general se considera que la materia orgánica del suelo (MOS) posee una fracción viva conformada por los macro y microorganismos del suelo así como las raíces de las plantas que en él crecen y una fracción latente conceptualizada como una mezcla heterogénea de las diferentes fases de transformación de los materiales orgánicos incorporados al suelo (humus), que varía con el tipo de suelo y con la profundidad (Rivero, 2001).

La materia orgánica del suelo es importante para el crecimiento y desarrollo de las plantas debido a que en ella se determina la disponibilidad de nutrientes para las mismas, de allí, la gran importancia de su estudio. De esta manera el estudio de la composición y calidad de la materia orgánica se realiza mediante diferentes técnicas, una de ellas sería el fraccionamiento, el cual se realiza por medio de una serie de procedimientos y métodos físicos y químicos.

El suelo se ve afectado en muchas ocasiones por el uso que el hombre le ha dado, generando su deterioro, uno de estos usos es la disposición de desechos sólidos en suelos usados como vertedero, donde se depositan todos aquellos sólidos que se consideran inservibles y por ende que ya no poseen valor comercial.

En la presente investigación se evaluó los parámetros de humificación en el vertedero clausurado “El Ereigüe” en el municipio San Joaquín-Edo. Carabobo, con la finalidad de determinar parámetros de humificación, correlacionarlos y

estudiar cómo están afectados por la contaminación que posee este suelo, a fin de establecer resultados que indiquen a los pobladores de la zona y a los entes gubernamentales la disponibilidad de materia orgánica presente y que sirva como punto de apoyo a futuras investigaciones para determinar el nuevo uso que se le podrá dar a este suelo.

CAPITULO I. Formulación del problema

I.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El suelo es esencial para la vida en el planeta, es una mezcla de componentes que conforman la parte externa de la corteza terrestre, el cual requiere de una serie de procesos que puede llevar miles de años para su formación, de aquí que este recurso se considera no renovable. Al suelo se le da diversos usos entre ellos se puede citar; agricultura y ganadería, construcción de edificaciones, recreo, eliminación de residuos, entre otros. Estas actividades con el transcurrir del tiempo generan la degradación de suelo, el uso continuo y la utilización por parte del hombre podría alterar su evolución, generando deterioro.

Se considera como degradación del suelo a toda modificación que conduzca al deterioro del suelo. Según la FAO - UNESCO la degradación es el proceso que rebaja la capacidad actual y potencial del suelo para producir, cuantitativa y cualitativamente, bienes y servicios. La degradación del suelo es la consecuencia directa de la utilización del mismo por el hombre (Dorronsoro, 2007).

Cuando se considera el tema de los residuos en el ámbito medioambiental se aborda una problemática que no es nueva, y que, en general, suscita un cierto recelo por parte de la sociedad. Los residuos son los subproductos generados en una determinada actividad de producción o de consumo que carecen de un valor económico en el mercado, y cuya eliminación genera problemas y riesgos para el medioambiente. (García et al, 2001).

En Venezuela, al igual que en muchos países la disposición final de los desechos sólidos (conocidos generalmente como basura); se realiza en vertederos incontrolados, allí llegan toneladas de desechos sólidos por día. Entre los desechos se tiene restos de comida, vidrio, plástico, entre otros, que son derivados de la actividad doméstica, comercial, industrial, y de servicios entre

otros. Estos desechos se mezclan con el suelo destinado como vertedero alterando sus propiedades físicas y químicas.

El sellado de los vertederos de residuos sólidos urbanos (VRSU) tiene como objetivo principal preparar el área que ocupan para su restauración, tendiendo a integrar el área de vertido en el medio que le rodea y sin deterioro de las condiciones medioambientales del lugar (Pastor et al, 2002). En el Municipio San Joaquín, sector El Ereigüe Edo. Carabobo se encuentra clausurado el vertedero El Ereigüe, el cual funcionó por un tiempo aproximado de 40 años, recibiendo desechos sólidos urbanos en grandes cantidades diarias generando una degradación bastante considerable a estos suelos, lo cual se presume ha minimizado el crecimiento de plantas en esta área.

Se planteó realizar la determinación de carbono orgánico total en estos suelos además de la extracción y fraccionamiento del humus con el fin de obtener los parámetros de humificación (índice de humificación, grado de humificación, porcentaje de humificación y relación C_{AH}/C_{AF}) en las muestras. Estos parámetros de humificación se evaluaron en muestras contaminadas y no contaminadas a fin de comparar si había variación en dichos parámetros debido a la presencia de los desechos sólidos arrojados sobre estos suelos.

I.2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

I.2.1. GENERAL

Evaluar diferentes parámetros de humificación en suelos contaminados con residuos sólidos urbanos en el vertedero clausurado “El Ereigüe” en San Joaquín Edo. Carabobo-Venezuela.

I.2.2. ESPECIFICOS

1. Determinar el carbono orgánico total y carbono extraíble en las muestras de suelos contaminados y no contaminados con residuos de desechos sólidos urbanos.

2. Determinar el contenido sustancias húmicas (Ácidos Húmicos, Ácidos Fúlvicos) y sustancias no húmicas en muestras contaminadas y no contaminadas con residuos de desechos sólidos urbanos.
3. Determinar los parámetros de humificación: índice de humificación, grado de humificación, razón de humificación y relación C_{AH}/C_{AF} , en muestras de suelos contaminados con residuos de desechos sólidos urbanos.
4. Estudiar la correlación de los parámetros de humificación obtenidos con el carbono orgánico total, el carbono extraíble y las sustancias húmicas y no húmicas.
5. Evaluar el efecto de los desechos sólidos urbanos sobre los parámetros de humificación.

I.3. JUSTIFICACIÓN

La materia orgánica tiene gran influencia en las propiedades químicas, físicas y biológicas de los suelos, pero a su vez ésta es afectada tanto en cantidad como en calidad por las prácticas de manejo que se aplican al suelo (Lozano et al, 2002). La importancia de la cuantificación del carbono orgánico de los suelos viene dada en la influencia que ésta tiene sobre muchas de las características del mismo.

Este estudio se llevó a cabo con muestras provenientes de suelos del vertedero clausurado “El Ereigüe”, ubicado en la comunidad “El Ereigüe” del municipio San Joaquín de estado Carabobo-Venezuela, zona urbanizada. La clausura de este vertedero luego de más de 40 años, se realizó por parte del Ministerio del Poder Popular para el Ambiente debido a que el mismo causaba problemas ambientales constantemente a las poblaciones aledañas a su ubicación, con la finalidad de transformar este terreno en un parque que sirva como área de recreación para los pobladores de la zona. Es por ello que se requiere el análisis de la materia orgánica y la evaluación de los diferentes parámetros de humificación cuyo resultado servirá como indicador de qué tan afectado están estos suelos debido a la gran cantidad de residuos sólidos urbanos que recibió y sirva como punto de partida a otros proyectos para establecer el uso que se le dará, o tratamiento que se requiera para recuperar estos suelos.

CAPITULO II. Marco teórico

II.1. ANTECEDENTES

Estudios realizados con anterioridad por otros investigadores con respecto al fraccionamiento de la materia orgánica, lo cual, sirve como base para la presente investigación:

- **Fraccionamiento químico de carbono orgánico y su relación con la actividad microbiológica, biomasa microbiana y cantidad de ADN en suelos cacaoteros venezolanos. (Armado et al, 2009).** Estudiaron la relación de diferentes parámetros de humificación con la actividad microbiológica, biomasa microbiana y contenido de ADN en muestras de suelos de tres zonas cacaoteras venezolanas (Estación Experimental San Juan de Lagunillas INIA-Mérida, Finca El Pedregal, Tucaní Estado Mérida). La extracción de fracciones de carbono extraíble, ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y sustancias no húmicas se basó en la diferencias de solubilidad en ácidos y bases de las sustancias húmicas, para cuantificar la materia orgánica aplicaron el método colorimétrico basado en la oxidación de la materia orgánica con dicromato de potasio, realizaron incubaciones para determinar la actividad microbiológica y la biomasa, la extracción de ADN se realizó mediante una modificación del método empleado por (Yeates C et al, 1998). Obtuvieron el índice de humificación, grado de humificación, razón de humificación y la relación de ácidos húmicos respecto a los ácidos fúlvicos, donde se observó que según los parámetros de humificación obtenidos durante el estudio de suelos tipo entisol ubicados en El Pedregal, Tucaní Estado Mérida poseen mayor contenido de material humificado, el suelo ubicado en la Estación Experimental San Juan de Lagunillas (INIA-Mérida) ocupó el segundo lugar y por último Estación Experimental Chama (INIA-Zulia) que posee la menor cantidad de material humificado. Se observó que los valores de razón de humificación en los suelos de Lagunillas fueron muy bajos, ya

que el material extraíble fue muy poco con respecto al carbono orgánico total presente en el suelo. Esto indica que en suelos arcillosos o franco-arcillosos la razón de humificación no proporciona valores adecuados, ya que la extracción de carbono orgánico no es muy eficiente, con el procedimiento empleado. Concluyeron que los parámetros de humificación calculados pueden servir como indicadores de la actividad microbiana y que de estos parámetros, el mejor indicador fue la relación de carbono C_{AH}/C_{AF} , ya que presentó la mayor correlación con la respiración basal, biomasa microbiana y cantidad de ADN. Este trabajo sirve como base para la presente investigación ya que el fraccionamiento de materia orgánica a realizar se aplicará parte de la metodología aplicada por ellos, se realizó la extracción y el fraccionamiento químico de las sustancias húmicas y la determinación de los parámetros de humificación los valores obtenidos por ellos pudieran tomarse como valores de referencia, ya que, se estudiaron suelos venezolanos.

- **Efecto de cultivos de cobertura de diferentes calidades sobre la materia orgánica de dos suelos venezolanos, (Lozano et al, 2002)**
Compararon el efecto de cultivos de cobertura (gramíneas y leguminosas) utilizados como barbechos mejorados en un sistema de labranza conservacionista sobre las diferentes fracciones de la materia orgánica (MO), en dos suelos de características contrastantes, un Vertisol arcilloso (San Pablo) y un Entisol arenoso (La Iguana) ambos del estado Guárico, evaluaron el carbono orgánico total (COT) por mineralización con $K_2Cr_2O_7$ en medio ácido, carbono extraíble total (CET), fracción ligera (FL) y fracción pesada (FP) de la materia orgánica, para la extracción de sustancias húmicas con $NaOH/Na_4P_2O_7$ 0,1 M, separándolas por acidificación del extracto y centrifugación, los ácidos húmicos (AH) (precipitado), ácidos fúlvicos (AF)(sobrenadante) y determinaron el carbono en todas estas fracciones, también se calcularon los índices: C/N,

grado de humificación (DH), relación de humificación (HR), índice de humificación (HI), C_{AH}/C_{AF} , C_{AF}/C_{OT} . Los resultados indicaron diferencias entre ambos suelos, debido principalmente a su granulometría y a la calidad de las coberturas evaluadas, especialmente en el índice de humificación. Este estudio se establece como antecedente ya que estudiaron parámetros de humificación que se analizaron en el presente estudio y se aplicaron los mismos métodos de obtención que usaron.

- **Contribución al estudio de los lixiviados generados en el relleno sanitario (Rodríguez et al, 2009).** Estudiaron la caracterización de los lixiviados que se generan en el Relleno Sanitario del municipio de Puebla (México), en función del conocimiento de sus propiedades para futuros procesos de tratamiento. Se muestreo el lixiviado en el relleno sanitario, una vez trasladado al laboratorio se deseco la muestra a $70^{\circ}\text{C} - 80^{\circ}\text{C}$, durante 48 hrs en estufa, el residual obtenido se pulverizó hasta obtener una muestra fina y homogénea, a éste se le determinó el porcentaje de materia orgánica, porcentaje de carbono del extracto húmico total, utilizando dicromato de potasio y ácido sulfúrico concentrado, el porcentaje de nitrógeno total, el pH, conductividad eléctrica y capacidad de intercambio catiónico total. En el lixiviado del relleno sanitario se presentó una gran cantidad de materia orgánica donde la mayor proporción se encontró como fracciones de ácidos húmicos y fúlvicos, dando características importantes a los mismos en posteriores investigaciones de sustancias húmicas. Como conclusión principal establecen que la materia orgánica debe ser composteada para su reintegración al ecosistema. Este trabajo nos sirvió como referencia, ya que estudiaron la materia orgánica en lixiviados de un relleno sanitario, nosotros no estudiaremos lixiviados pero si muestras de suelos impactados con desechos sólidos urbanos, de lo cual, se podieron comparar resultados obtenidos.

- **Caracterización del humus de suelos Del macizo de Ayllón (Hernando et al, 2003).** Estudiaron la evolución de las distintas fracciones de humificación así como su relación con la vegetación real y potencial de la zona y la altitud en la que se localizan. Además determinaron carbono orgánico total por el método de Walkley y Black (1934) basado en la oxidación por vía húmeda utilizando dicromato potásico en medio sulfúrico como oxidante, el fraccionamiento de la materia orgánica fue realizado siguiendo el criterio de Toutain (1981) mediante una separación densimétrica, Determinaron el carbono libre que incluye materia orgánica fresca o muy poco transformada; trataron la muestra con ultrasonidos y así pudieron determinar la humina. El resto de la muestra fue tratada con una mezcla de pirofosfato y sulfato sódico, lo que les permitió separar los ácidos fúlvicos y los ácidos húmicos, observaron que los grados de humificación son altos y el humus se encuentra muy evolucionado. Concluyeron que es más correcto realizar el estudio del grado de humificación a partir del fraccionamiento de materia orgánica que de la relación C/N. Este estudio se utilizó como guía ya que se usó la misma metodología para el fraccionamiento químico de la materia orgánica de lo cual, se podrá tomar en cuenta los resultados como punto de apoyo para los que se obtendrán en el presente estudio.
- **Efecto del petróleo sobre parámetros de humificación en suelos contaminados (Aponte et al, 2011)** plantearon determinar el efecto del petróleo sobre los parámetros de humificación en un suelo contaminado, provenientes de la localidad del Mene de San Lorenzo, Yaracal estado Falcón. Se caracterizaron los suelos determinando los parámetros fisicoquímicos. Determinaron la materia orgánica total y contenido de hidrocarburos totales presentes en el suelo mediante extracción Soxhlet. realizaron la extracción del carbono orgánico utilizando una solución de

hidróxido de sodio/ pirofosfato de sodio como extractante y el fraccionamiento químico de la materia orgánica empleando el método de solubilidades ácido – base y una columna de polivinilpirrolidona (PVP) insoluble. Fue cuantificado el contenido de carbono orgánico presente en cada una de las fracciones de la materia orgánica mediante el método de Walkley Black (1934) lo que permitió determinar los parámetros de humificación. En las muestras contaminadas con hidrocarburos se observó una disminución en ciertos parámetros fisicoquímicos tales como: pH, capacidad de intercambio catiónico y retención de humedad. Obtuvieron que las muestras contaminadas tienen mayor contenido de materia orgánica que las muestras controles, sin embargo el contenido de carbono orgánico total no presentó correlación lineal con la concentración de HTP, indicando que ocurre un incremento del carbono orgánico total pero no de manera proporcional al contenido de hidrocarburos presentes en el suelo. Por otra parte al evaluar las fracciones de la materia orgánica: carbono extraíble (C), ácidos húmicos (AH), ácidos fúlvicos (AF) y sustancias no húmicas (SNH) respecto al contenido de hidrocarburos (HTP) solo mostraron correlación el carbono orgánico extraíble y la fracción de ácidos húmicos, indicando así que existe una afinidad estructural entre los compuestos de la materia orgánica y el contaminante. Todas las fracciones de la materia orgánica mostraron correlación significativa con el contenido de carbono orgánico total, indicando que son dependientes de la misma. En cuanto a los parámetros de humificación solo el índice de humificación y la relación C_{AH}/C_{AF} no mostraron correlación significativa, esto se debe a que dichos parámetros no dependen del contenido de materia orgánica total. Este estudio se usó como base para el presente trabajo ya que se sigue la misma metodología para la caracterización fisicoquímica, fraccionamiento y determinación de carbono en las muestras además de que se pudo comparar ya que, son suelos del mismo país.

II.2. FUNDAMENTOS BASICOS

Existen diferentes conceptos de suelo, lo cual depende de las características de usos del mismo y del punto de estudio que se le dé. Si se considera el suelo en su conjunto como un sistema disperso, constituido por tres fases (sólida, líquida y gaseosa), se pueden distinguir en él, cuatro grandes componentes: materia mineral, materia orgánica, agua y aire, íntimamente ligados, mezclados entre sí, y originando un medio ideal para el crecimiento de las plantas (Ver Figura 1)

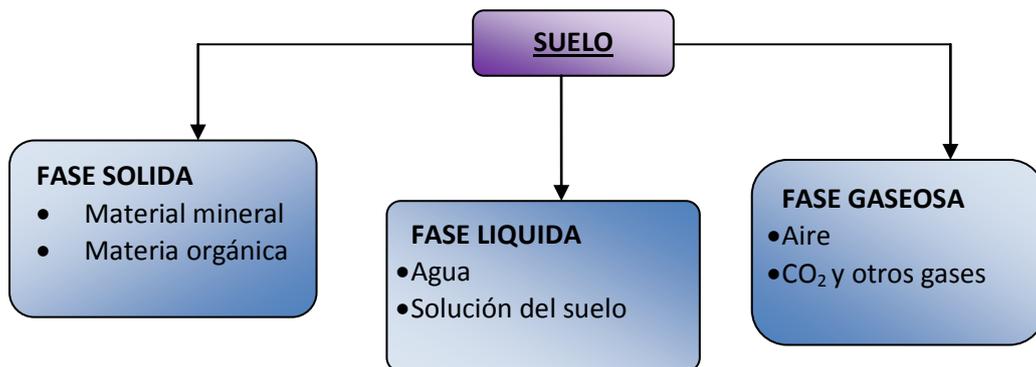


Figura 1. Fases y componentes fundamentales del suelo (Modificado de Navarro, 2003)

II.2.1. Materia Orgánica del suelo

Todos los residuos de origen vegetal y animal que llegan al suelo conforman la materia orgánica del mismo; la principal fuente de ella son los residuos vegetales, los cuales aportan energía y alimento a los organismos del suelo, al tiempo que son la materia prima para la formación de los coloides orgánicos (humus) que se acumulan en el suelo (Jaramillo, 2002). Se considera a la materia orgánica del suelo (MOS) como un conjunto de compuestos heterogéneos con base de carbono, que están formados por la acumulación de materiales de origen animal y vegetal, parcial o completamente descompuestos en continuo estado de descomposición, de sustancias sintetizadas microbiológicamente y/o químicamente, del conjunto de microorganismos vivos y muertos y de animales pequeños que aún faltan descomponer (Meléndez, 2003).

II.2.2. Composición química de la materia orgánica del suelo

Una fracción pequeña de MOS está constituida por carbohidratos, aminoácidos, ácidos alifáticos, proteínas, grasas, etc., y en su mayor parte están formadas por las llamadas sustancias húmicas, que son una serie de compuestos de alto peso molecular. Estas sustancias húmicas han sido divididas en grupos de acuerdo a su solubilidad en soluciones ácidas y básicas concentradas: ácidos húmicos, ácidos fúlvicos, huminas. Los ácidos húmicos son moléculas más grandes y complejas que los ácidos fúlvicos, además presentan contenidos más altos de N, pero menor de grupos funcionales (Meléndez, 2003). Los materiales orgánicos del suelo se agrupan según su grado de transformación en diferentes grupos tal como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Principales grupos de materiales orgánicos del suelo (Jaramillo, 2002)

MATERIA ORGÁNICA FRESCA (MF) {Órganos}	MATERIA ORGÁNICA NO HUMICA (MNH) {Compuestos químicos simples}	MATERIA ORGÁNICA HUMICA (MH) {Coloides orgánicos}
Hojas	Celulosa	Ácidos Fúlvicos
Tallos	Hemicelulosa	Acido Himatomelánico
Raíces	Lignina	Ácidos Húmicos
Flores	Azúcares, aminoácidos y ácidos alifáticos.	Huminas
Frutos	Grasas, aceites, ceras, resinas. Proteínas.	

Durante las reacciones de descomposición de los restos orgánicos se produce una oxidación de éstos con una consecuente liberación de elementos nutritivos para la planta, principalmente NH_3 , NH_4^+ , NO_3^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , H_2O y CO_2 . Después de que pasa esta primera etapa de alteración y dependiendo de las condiciones ambientales y de la calidad de la materia orgánica aportada, el proceso de transformación tiene dos posibles vías que son:

- Mineralización: es la transformación de compuestos orgánicos a compuestos inorgánicos y es inminentemente microbiológico. Las transformaciones del N y del S que llevan estos nutrientes a formas

fácilmente aprovechables son de gran importancia para la nutrición de la planta. (Jaramillo, 2002).

- **Humificación:** es un conjunto de procesos que transforman la materia orgánica en compuestos que tienen una alta capacidad de absorción de la luz visible y unos altos contenidos de grupos orgánicos carbonilo y carboxilo. Se refiere a un conjunto de procesos de naturaleza biológica, bioquímica y química donde se transforman los residuos orgánicos vegetales y animales en un conjunto de sustancias orgánicas variables de complejidad (Jaramillo, 2002).

Los procesos de mineralización y humificación, normalmente, se presentan simultáneamente en el suelo, dependiendo de la relación C/N, se favorece uno u otro proceso. En suelos con relación C/N, bajo se favorece el proceso de mineralización y suelos con relación C/N alto, favorece al proceso de humificación.

La materia orgánica fresca es un componente importante para suministrarle alimentación y energía a la meso y macrofauna del suelo. La materia orgánica no húmica es la principal fuente de energía y de carbono para los microorganismos del suelo. Sin embargo, desde el punto de vista físico-químico, la materia orgánica húmica o humus es la fracción orgánica más importante del suelo debido a que posee propiedades coloidales que le transmiten al suelo propiedades únicas (Navarro, 2003).

II.2.3 Humus

El humus es el conjunto de compuestos orgánicos amorfos, poliméricos, de alto peso molecular y de color amarillo hasta gris oscuro o casi negro, que se acumula en el suelo como consecuencia de su resistencia a la transformación (Jaramillo, 2002), el humus constituye el complejo grupo de compuestos orgánicos de color marrón, pardo y amarillo que se extrae por soluciones de álcalis, sales neutras y disolventes orgánicos (Kononova, 1982), está formado por una cantidad enorme

de distintos constituyentes, pero generalmente son clasificados en dos grupos: Sustancias Húmicas (SH) y Sustancias no Húmicas (SNH)..

II.2.4 División de las sustancias húmicas según su solubilidad

- **Ácidos Fúlvicos:** Son compuestos de bajo peso molecular, alta acidez (entre 900 y 1400 meq/100 g), bajo grado de polimerización, solubles en álcali y en ácido (Jaramillo, 2002).

Los ácidos fúlvicos se distinguen de los ácidos húmicos por su coloración más clara, por el contenido relativamente bajo en carbono (menos del 55%) y por su buena reactividad en agua, alcohol, álcalis y ácidos minerales, tienen alta capacidad de cambio (hasta 700 meq por 100 g de sustancia). Actúan destructivamente sobre los minerales, son propensos a formar complejos R_2O_3 que poseen gran movilidad (Meléndez, 2003). En la Figura 2, se puede observar una estructura promedio de los ácidos fúlvicos:

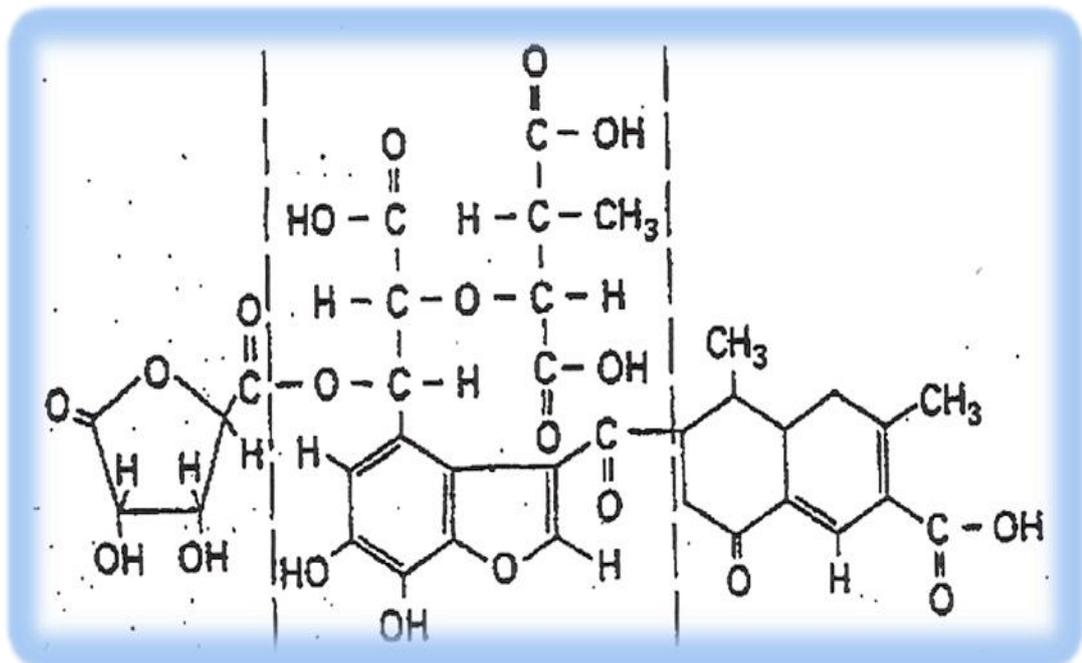


Figura 2. Propuesta de estructura química promedio del ácido fúlvico (Werhaw et al., 1975)

- **Ácidos Húmicos:** Son compuestos de alto peso molecular, baja acidez (entre 500 y 870 meq/100g), alto grado de polimerización, solubles en álcali, pero precipitan en medio ácido. (Jaramillo, 2002).

Los grupos característicos de los ácidos húmicos son los carboxilos e hidroxilos fenólicos, cuyo hidrógeno es susceptible a las reacciones de sustitución (Meléndez, 2003). En la Figura 3, se presenta la estructura hipotética de un ácido húmico.

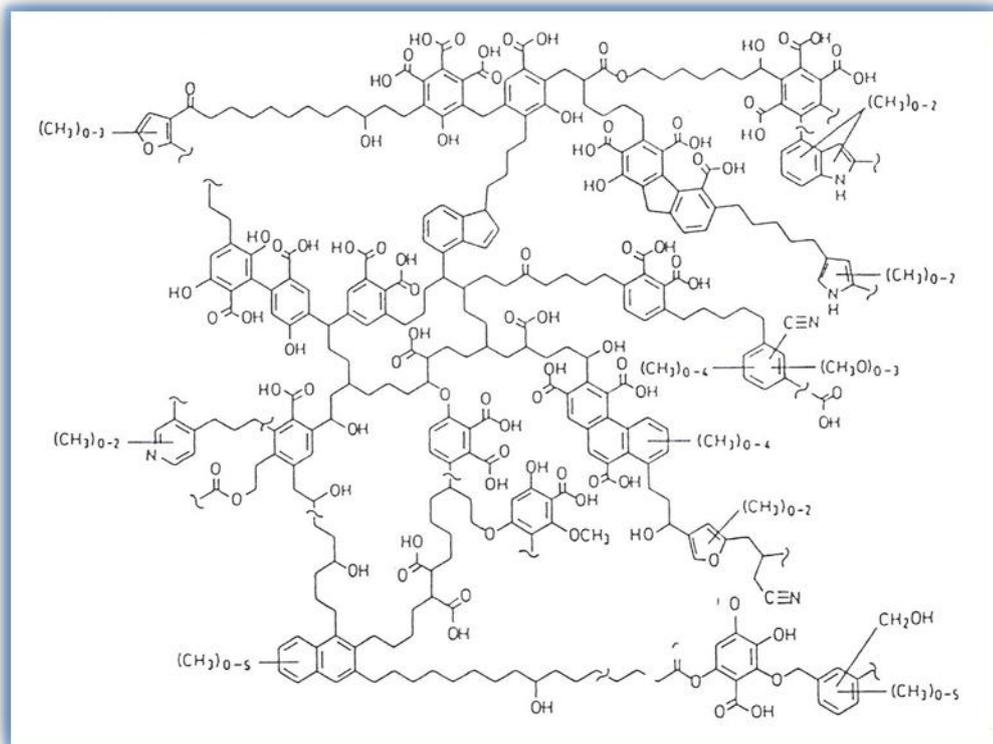


Figura 3. Propuesta de estructura química promedio de un ácido húmico (Shulten and Schnitzer, 1993)

A pesar de la complejidad y variabilidad entre los ácidos húmicos y fúlvicos hay algunos rasgos distintivos entre ellos que suelen observarse experimentalmente, los ácidos fúlvicos generalmente presentan aromaticidad en un valor menor al de los ácidos húmicos 25% versus 40% respectivamente. Asimismo, los Ácidos Fúlvicos son mayores en carga negativa y polaridad que los Ácidos Húmicos (Schnitze, 1990).

- **Huminas:** es la fracción del humus más resistente a la descomposición que no es soluble ni en ácido, ni en álcali (Jaramillo, 2002). Paul y Clark (1989) sugieren que está compuesta por mezclas de ácidos fúlvicos y húmicos con otros componentes no solubles provenientes de plantas y microorganismos.

II.2.5 Funciones del humus en el suelo

Las grandes funciones que el humus desarrolla en el suelo son de tipo físico, químico y biológico. El humus influye notablemente en los caracteres físicos del suelo; le proporciona un color oscuro, que favorece la absorción de rayos solares y, por tanto el aumento de la temperatura. Es el principal responsable de la estructura granulosa y, en consecuencia, facilita una mayor porosidad, reduce la viscosidad de las arcilla, con lo que se favorece la aireación y el drenaje, por su capacidad de retención de agua, mantiene en el suelo un contenido apropiado de ella y tiende a reducir la evapotranspiración.

Entre las propiedades químicas se puede citar que el humus presenta poder amortiguador, incrementando su capacidad de cambio, y por ende, un incremento de la reserva de elementos nutritivos para la planta, ejerce una unión compensadora entre aniones y cationes en la disolución del suelo y puede formar quelatos de hierro y magnesio.

En el aspecto biológico, el humus es soporte de una gran variedad de microorganismos, que hacen del suelo un medio vivo, a su vez estos organismos, contribuyen a su transformación, el humus es verdaderamente el fundamento de la actividad microbiana del suelo (Navarro 2003).

La materia orgánica, en todas sus diferentes formas, tiene efectos marcados en casi todas las propiedades del suelo, entre ellos podemos mencionar (Jaramillo, 2002):

- Favorece la formación de la estructura, aumenta el tamaño y estabilidad de los agregados, aumenta la cantidad de macroporos, aumenta el volumen de aireación y mejora la circulación del aire.
- Aumenta la velocidad de circulación del agua dentro del suelo, aumenta la capacidad de retener agua, sobre todo a bajas tensiones y/o si el suelo es arenoso.
- Aumenta la friabilidad, disminuye la pegajosidad, la plasticidad y el encostramiento superficial; con esto se facilita el laboreo del suelo ya que este le opone menos resistencia a los implementos y a las maquinas, disminuye la susceptibilidad del suelo a la erosión,
- Oscurece el suelo facilitando su calentamiento, con lo cual mejora la germinación de las semillas, el desarrollo radicular y la nutrición de la planta.
- Aporta algunos nutrientes (N, P, S principalmente) durante el proceso de mineralización; puede ocasionar fijación de algunos elementos menores; la disponibilidad de algunos nutrientes se puede ver reducida debido a la formación de complejos estables, como la formación de quelatos con Cu, Mn, Zn, Fe, entre otros, a procesos de adsorción selectiva de algunos iones, es la principal fuente de energía para los organismos que viven en el suelo.

II.2.6 Evaluación de materia orgánica del suelo

La materia orgánica del suelo puede estudiarse evaluando su contenido o su composición. A su vez, el contenido puede establecerse en forma total, es decir, sin diferenciar ninguno de los componentes, o haciendo extracciones selectivas para fraccionarla en grupos de compuestos que luego son cuantificados (Jaramillo, 2002).

La mayor parte de la materia orgánica de los suelos y sedimentos, se encuentra en formas insolubles como complejos macromoleculares aislados o unidos mediante cationes di y trivalentes (Ca^{2+} , Fe^{3+} y Al^{3+}) en combinación con componentes inorgánicos como arcillas (complejo arcillo-húmico). Dado que las sustancias húmicas son polielectrolitos, permanecen insolubles en la solución del suelo cuando sus cargas están saturadas por cationes divalente y trivalente, o por iones hidrógeno; cuando estos son remplazados por cationes monovalentes como Na^+ y K^+ , tiene lugar la solvatación de los polianiones que se disuelven en agua. Se han ideado diversas metodologías para el fraccionamiento de la materia orgánica, en donde el fundamento es la reactividad de las diferentes fracciones que la conforman (Ayuso, 1995).

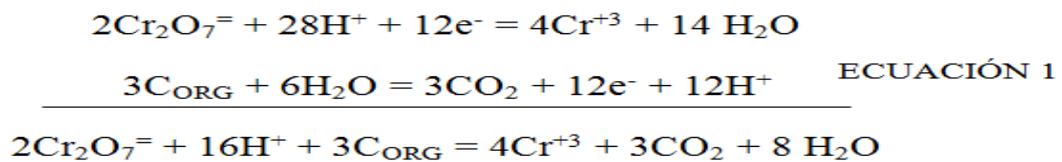
El fraccionamiento químico de las sustancias húmicas es una técnica muy importante al caracterizar un suelo, ya que nos permite la cuantificación de dichos ácidos y a su vez relacionarlos, para así tenerlos como indicadores del suelo. Pero además, debe cuantificarse la cantidad de carbono orgánico presente en el mismo ya que este, también sirve como un indicador de las características del suelo (Jackson, 1964).

II.2.7. Carbono orgánico en suelos y su determinación por el método colorimétrico de Walkley y Black

El carbono orgánico del suelo se encuentra en forma de residuos orgánicos poco alterados de vegetales, animales y microorganismos, en forma de humus y en formas muy condensadas de composición próxima al carbono elemental (Jackson, 1964). La importancia de la cuantificación del carbono orgánico de los suelos, se fundamenta en la influencia que ésta tiene sobre muchas de las características del mismo, como son: el color, la formación de agregados, plasticidad, cohesión, capacidad de retención de humedad, intercambio iónico, disponibilidad de los nutrientes como nitrógeno, fósforo y azufre, producción de sustancias inhibitoras y activadoras del crecimiento de microorganismos del suelo, participación en los

procesos pedogenéticos, por sus propiedades de peptización, coagulación y formación de quelatos (Fassbender1980).

En la caracterización de suelos se requiere determinar el contenido de carbono orgánico, para definir el tipo de suelo de interés para uso agrícola. Su valor permite el conocimiento de las relaciones C/N, C/P y C/S de los suelos (Broadbent, 1965). El método más ampliamente utilizado, es el de combustión húmeda de Walkley y Black, el cual se fundamenta en la siguiente ecuación óxido reducción:



Donde el carbono orgánico del suelo es oxidado por el $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ en presencia de H_2SO_4 sin el empleo de una fuente de calor externa; la reducción del ión $\text{Cr}_2\text{O}_7^=$ (color anaranjado en solución) a ión trivalente (de color verde), será equivalente a la cantidad de carbono oxidado. El cromo trivalente existe en solución acuosa ácida como ión estable hidratado (hexaquo) $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6]^{+3}$ y presenta dos máximos en la región visible, uno cerca de 450nm y otro cerca de 600nm. El ión dicromato también tiene un máximo cercano a 450nm pero no absorbe en las cercanías de 600nm (Walinga et al, 1992).

II.2.8. Residuos sólidos urbanos

Se refieren al conjunto de residuos sólidos de desecho producidos en las ciudades; presentan una fuerte variabilidad en su composición, dependiendo de su origen (Jaramillo, 2002). Estos residuos son depositados en lugares dispuestos para ellos, llamados vertederos. Los crecimientos poblacionales van cercando los lugares en los cuales se ubican esos depósitos y, una vez finalizado su cometido, se produce una presión para su uso, exigiéndose de ellos una respuesta utilitaria. Dentro de sus posibilidades se mencionan la recreación, la producción forestal u otras formas comerciales de producción vegetal (Leone et al., 1979).

Los procesos de degradación de los residuos sólidos presentan algunas consecuencias como la generación de biogás y líquidos lixiviados. Si la producción de lixiviados es muy elevada y/o si el relleno sanitario no tiene un revestimiento adecuado, los lixiviados pueden escapar y pueden derivar en escurrimientos que contaminan las aguas superficiales, o bien infiltrarse hasta los mantos freáticos (Palma et al., 1999).

Los residuos sólidos urbanos aportan una serie de ventajas y desventajas al suelo, ya que estos son arrojados directamente al suelo establecido como vertedero, con lo cual se alteran sus propiedades físicas y químicas, entre las cuales se pueden citar:

Ventajas (Jaramillo, 2002)

- Es una alternativa para el manejo de basuras urbanas.
- Se presenta un aporte alto de materia orgánica al suelo.

Desventajas (Abad, 1998)

- Exceso de nutrientes y sales que causan desbalances nutricionales para las plantas.
- La descomposición del material producido es muy lenta.
- Se puede presentar un alto contenido de materiales no biodegradables como plástico, vidrio, etc., tanto en el material original como en el compostado que dificultan su uso.

CAPITULO III. Marco metodológico

III.1. UBICACIÓN, MUESTREO Y PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

La zona de estudio está localizada en el Sector el Ereigüe, municipio San Joaquín Estado Carabobo-Venezuela. En un terreno cuyo suelo es de textura arenosa, el cual operó desde hace aproximadamente 40 años, recibiendo desechos de los 140.000 habitantes aproximadamente del sector y otros poblados aledaños, así como del parque industrial local, la pluviometría tiene un valor medio anual de 1.150 mm, siendo los meses de más baja humedad febrero, marzo y abril; en esta época la vida vegetal tiende a disminuir, predominando la vegetación de paja y arbustos, propios de este clima. (Tauche, 1992).

En la actualidad este vertedero se encuentra clausurado y fue cubierto con 20 cm de grosor aproximadamente de relleno por el Ministerio Popular del Ambiente. Se realizó la toma de muestra en la época de sequía del año, tomando muestras del relleno y del suelo por separado en 10 puntos, tomando en cuenta la profundidad de cada muestra (tanto para el relleno como para el suelo) y se tomaron dos muestras control en una zona cercana al terreno de forma tal que éstas no hayan sido afectadas, en principio, por desechos sólidos urbanos (ver Figura 4).

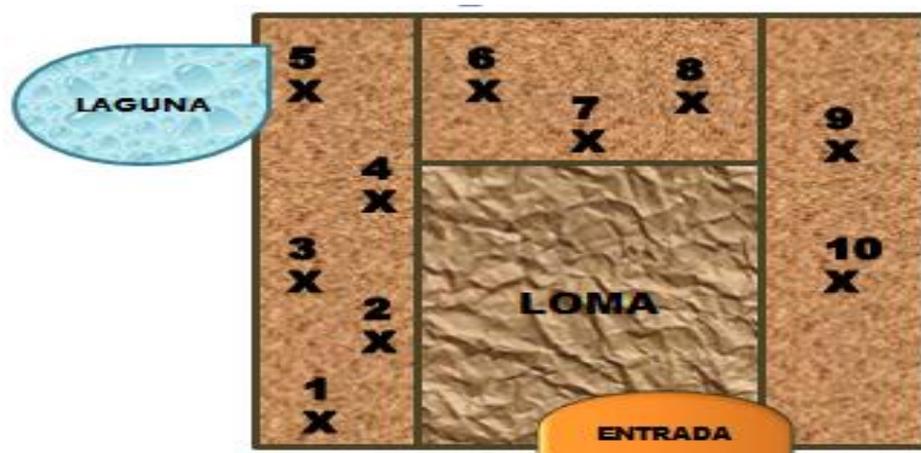


Figura 4. Esquema general de la ubicación de las muestras. (Fuente: modificado de Linares 2011)

Para la toma de muestra se utilizaron los siguientes materiales: pala y barreno (para excavación), bolsas de polietileno (para envasado), precintos (para sellado de cada bolsa) y etiquetas para identificar cada una de las muestras.

Además, todas las muestras fueron georeferenciadas, con sus respectivas coordenadas obtenidas con un GPS. Se utilizó el método de muestreo al azar o muestreo aleatorio simple o investigación exploratoria, debido a que se disponía de poca información acerca de las características del suelo a evaluado (Lozano, 2006). En la Tabla 2 se presenta la ubicación geográfica de cada muestra.

Tabla 2. Coordenadas de cada una de las muestras de suelo recolectadas. (Fuente: laboratorio de investigaciones bioquímicas FACYT-UC)

MUESTRA	NORTE	OESTE
1	10° 09` 7``	67° 52` 10``
2	10° 10` 7``	67° 52` 47``
3	10° 9` 55``	67° 52` 47``
4	10° 9` 44``	67° 52` 47``
5	10° 9` 58``	67° 48` 27``
6	10° 16` 55``	67° 48` 27``
7	10° 16` 59``	67° 48` 34``
8	10° 17` 0``	67° 48` 32``
9	10° 16` 54``	67° 48` 32``
10	10° 17` 3``	67° 48` 37``
control	10° 16` 57``	67° 48` 30``

Para preservar la integridad química de las muestras desde la toma de las mismas hasta encontrarse listas para los análisis de laboratorio, se trasladaron en bolsas limpias y bien cerradas, antes de ser usadas para los análisis se secaron al aire por 72 horas, y luego se molieron y se pasaron por tamiz de 2 mm, se almacenaron en recipientes de vidrio con tapa a temperatura ambiente, debidamente identificados (Frostergård et al, 1993).

La determinación de pH, conductividad eléctrica, contenido y retención de humedad de las distintas muestras en estudio se llevó a cabo mediante las metodologías que se describen a continuación y se resumen en la Tabla 3.

Tabla 3. Métodos de análisis usados para el estudio físico-químico

<i>PARÁMETRO</i>	<i>MÉTODO</i>	<i>TÉCNICA</i>	<i>REFERENCIA</i>
Contenido de Humedad (%)	10 g de muestra T= 105°C en 24h	Gravimetría	(Jackson, 1970)
pH	1:1 agua	Potenciométrica	(Olarte, 1979)
Conductividad (CE)	1:2 agua	Conductimetría	(Jackson, 1970)
Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	NH ₄ OAC 1M pH7	Extracción y alcalina	(Schollenberger y Simon, 1945)

III.1.1 Determinación del contenido de Humedad (Jackson, 1970)

Se pesaron 10 g de suelo, se colocaron en la estufa durante 24 h a 105 °C y se registró nuevamente su peso.

III.1.2 Determinación de pH y conductividad eléctrica, CE, (Olarte, 1979; Jackson, 1970)

Se pesaron 5 g de suelo en tubos de ensayo tipo falcón. Se adicionaron 5 mL de agua destilada, se agito todos por 30 min, se centrifugo durante 10 min a 3000 rpm y finalmente se determinó el pH a todos los sobrenadantes con un pH-metro. Por su parte la conductividad eléctrica se determinó con un conductímetro al sobrenadante de un tubo con 5 g de muestra y 10 mL de agua (relación 1:2).

III.1.3 Determinación capacidad de intercambio catiónico CIC (Schollenberger y Simon, 1945)

Se pesaron 5,0 g de suelo seco, se les adicionó 25 mL de acetato de amonio 1 M a pH 7 y se colocó en agitación durante 30 min, se dejó en reposo por un período de 15 min y se filtro el sobrenadante, el suelo precipitado se redisolvió en una porción de 10 mL de acetato de amonio y se volvió a centrifugar. A fin de eliminar el exceso de amonio, el suelo fue redisoluelto con etanol al 95 %, luego de

centrifugar y descartar el etanol, se dejó en reposo aproximadamente 24 horas, transcurrido el tiempo, se centrifugó y se lavó el suelo con 2 porciones de 10 mL de agua destilada, recogiendo estas aguas junto con el sobrenadante anterior agregando 10 mL de formaldehído al 40% y se tituló con una solución estandarizada de NaOH 0,1 M.

III.2. DETERMINACIÓN DE CARBONO ORGÁNICO TOTAL EN SUELO

La determinación del carbono orgánico en las muestras de suelo se realizó mediante el método de oxidación vía húmeda con dicromato de potasio y ácido sulfúrico concentrado, (desarrollado por Walkley y Black y modificado por Walinga et al, 1992) utilizando el siguiente procedimiento:

Se pesaron 0.1 g de suelo (previamente secados al aire y tamizado a 2 mm) en un envase de vidrio, se le añadió 2 mL de una solución $K_2Cr_2O_7$ 0.33 M y 4 mL H_2SO_4 concentrado. Esta solución se dejó en reposo aproximadamente 24 horas. Luego, la solución se llevó a un balón 25 mL y se aforó, luego se procedió a centrifugar la solución por 20 min a 3500 rpm. El líquido sobrenadante se utilizó para la determinación espectrofotométrica del carbono orgánico.

La curva de calibración se preparó a partir de las soluciones patrones de glucosa, en un intervalo de concentración de: 1 a 10 mg C como se describe en la Tabla 4. Se tomó 1 mL de cada una de las soluciones patrones y se le añadió 2 mL de $K_2Cr_2O_7$ y 4 mL de H_2SO_4 . El blanco estuvo constituido por 1 mL de agua destilada con los reactivos anteriores en las mismas proporciones (ver Figura 5).

Para obtener el carbono orgánico total (C_{TOT}) por colorimetría (Walinga et al, 1992), se realizó la lectura espectrofotométrica a una longitud de onda de 600 nm de cada una de las soluciones.

Tabla 4. Elaboración de soluciones patrón para la curva de calibración

Patrón	Volumen de la alícuota (50 mg/L)	Concentración Patrón (mg C/L)
A	0	0
B	2	1
C	5	2,5
D	10	5
E	15	7,5
F	20	10

**Figura 5. Patrones de glucosa tratados mediante el método Walkley-Black.**

III.3. EXTRACCIÓN Y FRACCIONAMIENTO DE LAS SUSTANCIAS HÚMICAS

Se realizó por medio del procedimiento descrito por Ciavatta y col. (1991), basado en la diferencia de solubilidad de las sustancias húmicas en ácidos y bases.

El procedimiento se describe a continuación.

Se pesaron 10 g de suelo y se colocaron en un recipiente, a este se le añadió 100 mL de una solución combinada de 0,1 M de NaOH y 0,1 M de

$\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$. Se cerró bien el recipiente y se sometió a agitación aproximadamente por 24 horas (ver Figura 6).



Figura 6. Muestras de suelo en agitación con de NaOH/Na₄P₂O₇ 0,1 M.

Luego se centrifugó a 3500 rpm por 20 min y se filtró por gravedad a través de un papel de filtro, seguido de esto, se filtró por vacío a través de filtros de membrana de 0,2 μm . En esta etapa se obtuvo una fracción soluble que se le denominó extracto alcalino (EA) y una fracción insoluble de color brillante, correspondiente a las huminas (H) (ver Figuras 7 y 8).



Figura 7. Filtración por gravedad de las muestras de suelos tratadas con NaOH/Na₄P₂O₇ 0,1 M.



Figura 8. Filtración al vacío para separar las huminas del extracto alcalino por medio de filtros de membrana de 0,2 μm .

Seguidamente, se transfirió a un tubo centrifuga una alícuota de 25 mL de EA y se acidificó a un $\text{pH} < 2$ mediante la adición de H_2SO_4 al 50 %, luego se centrifugó a 3500 rpm por 20 min. El precipitado en esta etapa de acidificación correspondió a la fracción de ácidos húmicos (AH), el cual se redisolvió con NaOH 0.5 M, luego se trasvasó a un balón volumétrico de 50 mL y se aforó con la misma solución de NaOH 0.5 M (ver Figura 9).

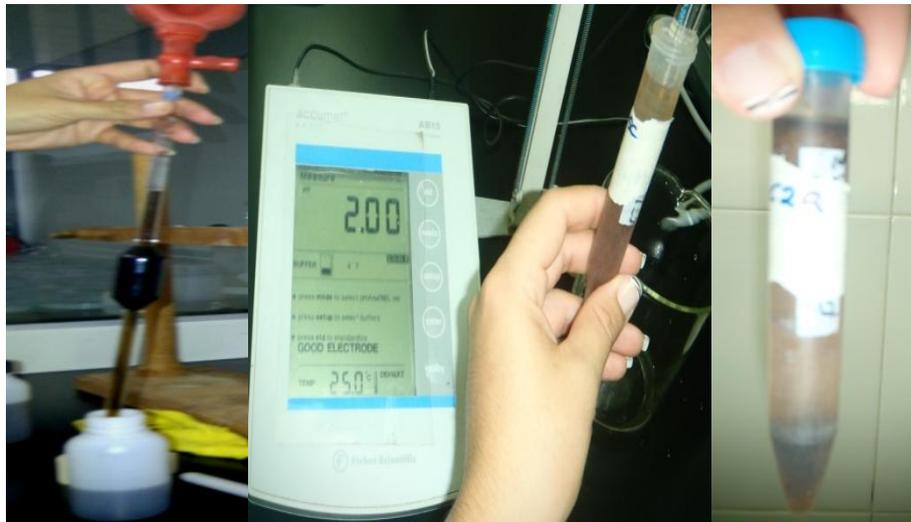


Figura 9. Separación de ácidos húmicos en las muestras tratadas.

El sobrenadante se pasó por medio de una columna empacada con 5-6 mL de Polivinilpirrolidona (PVP) previamente equilibrada con H_2SO_4 0,01 M, la fracción que no quedó retenida en la columna correspondió a fracción de material no humificado, es decir, las sustancias no húmicas (SNH). Esta fracción se arrastró completamente con una solución 0,01 M de H_2SO_4 y se llevó al aforo en un balón de 50 mL con la misma solución.

La fracción retenida en la columna de PVP, correspondió a la fracción de ácidos fúlvicos (AF), ésta fracción se recuperó haciendo pasar por la columna una solución 0.5 M de NaOH, seguidamente se recogió en un balón aforado de 50 mL y se llevó a aforo con NaOH 0.5 M (ver Figura 10).

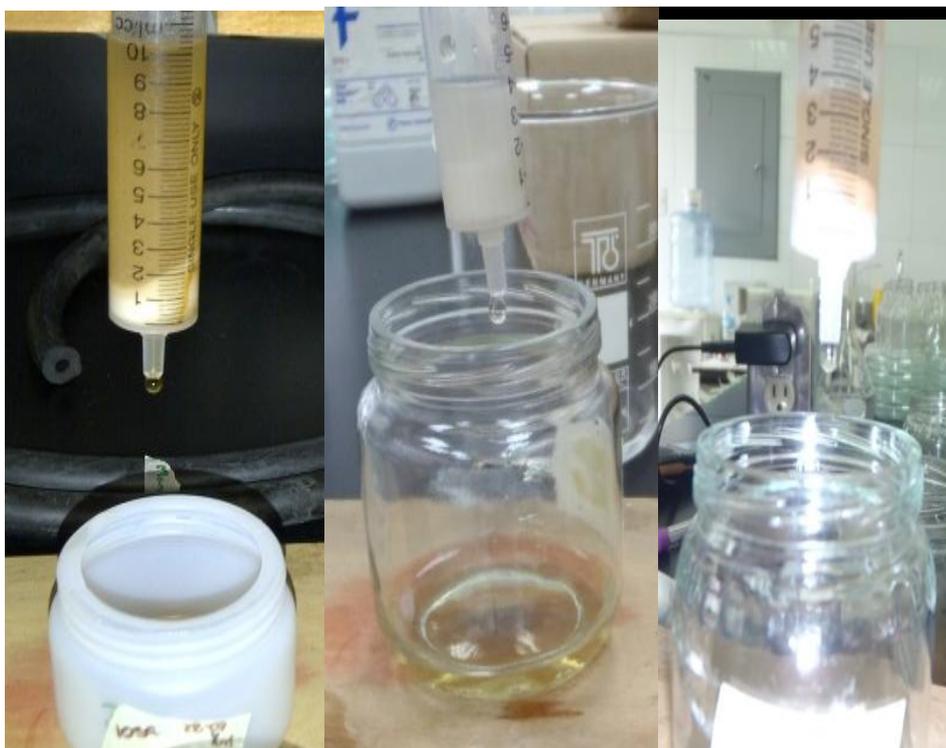


Figura 10. Separación de ácidos fúlvicos y sustancias no húmicas en las muestras tratadas, por medio de una columna de PVP.

El extracto alcalino obtenido inicialmente (EA) y las fracciones ácidos húmicos (AH), ácidos fúlvicos (AF) y compuestos no húmicos (SNH), se almacenaron bajo refrigeración a 4 °C, para ser utilizadas en el estudio de los parámetros de humificación del suelo. La extracción y fraccionamiento se realizó por duplicado para cada muestra de suelo. En la Figura 11 se muestra un esquema del fraccionamiento químico de la materia orgánica según el procedimiento descrito anteriormente.

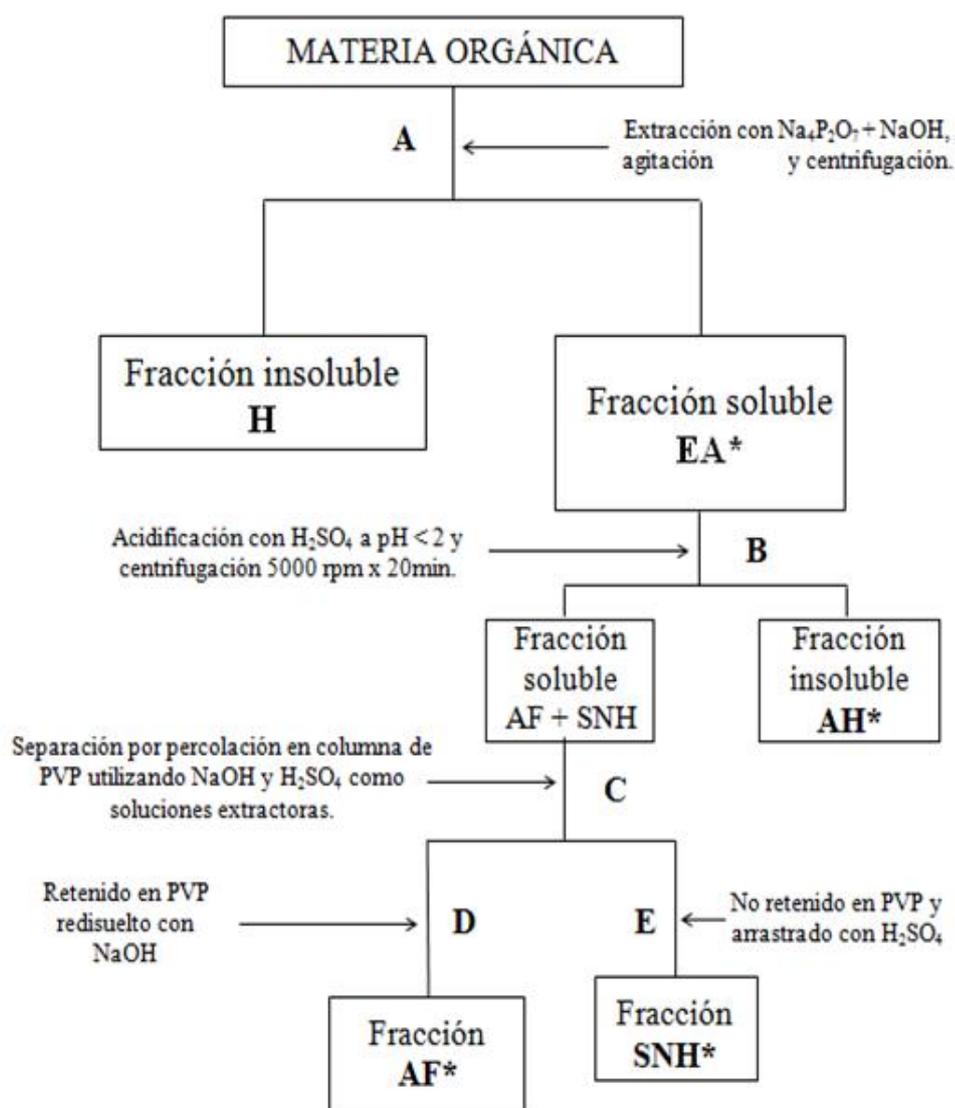


Figura 11. Esquema de metodología descrita por Ciavatta y col. (1991) ligeramente modificado.

Donde:

H: Huminas.	A: Etapa de álcalis con mezcla Base Fuerte/Sal neutra. Obtención de H y EA.	E: Arrastre de la fracción no humificada SNH con un Ácido Fuerte.
AH: Ácidos Húmicos.	B: Etapa de acidificación con Ácido Fuerte, para la precipitación de los AH.	* Fracciones que serán utilizadas para determinar los parámetros de humificación en el suelo a estudiar.
AF: Ácidos Fúlvicos.	C: Etapa de separación de AF y SNH por percolación en la columna de PVP.	
SNH: Sustancias no húmicas.	D: Redisolución y arrastre de la fracción AF con base fuerte.	

III.4. DETERMINACIÓN DEL CARBONO ORGÁNICO EN LAS FRACCIONES EXTRAÍDAS

De cada una de las fracciones obtenidas: Ácidos Húmicos (AH), Ácidos Fúlvicos (AF) y compuestos no húmicos (SNH), se tomaron alícuotas de 20 mL y una alícuota de 10 mL para el carbono extraíble, y se llevó a sequedad, sometiendo la muestra a una temperatura de 40 °C (ver Figura 12).



Figura 12. Alícuotas de cada una de las fracciones CE, AH, AF, SNH antes de evaporar

Se aplicó el método de determinación de carbono orgánico como se describió anteriormente para cada una de las fracciones extraídas, de este modo se obtuvo el porcentaje de carbono orgánico en el extracto C_{EXT} y el porcentaje de carbono orgánico asociado a las fracciones AH, AF y SNH (ver Figura 13).

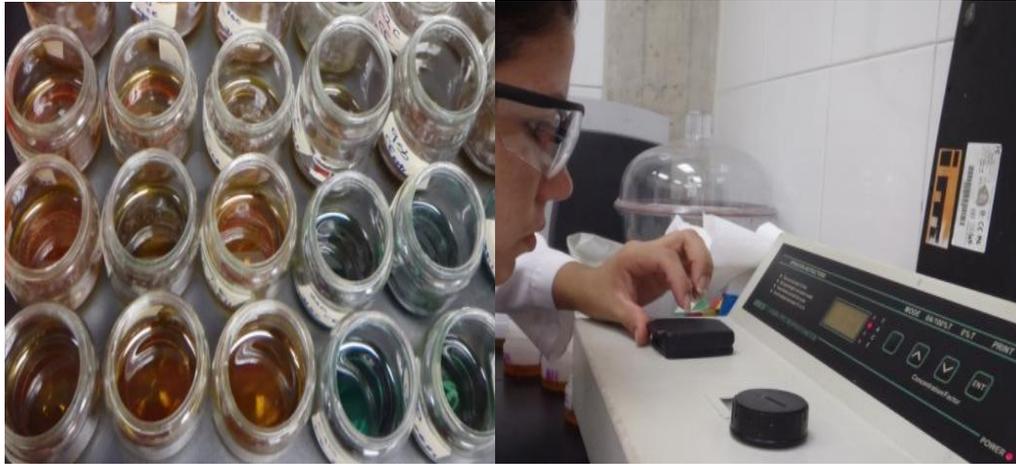


Figura 13. Determinación de carbono en las fracciones CE, AH, AF, SNH presente en las muestras de suelo tratadas.

Una vez aplicada la técnica de fraccionamiento químico de las sustancias húmicas se realizó el cálculo de los parámetros de humificación (Sequi et al, 1986), que a continuación se expresan:

$$\text{Índice de humificación: (IH)} = C_{SNH} / (C_{AF} + C_{AH}) \quad (\text{Ecuación 2})$$

$$\text{Grado de humificación: (GH)} = ((C_{AF} + C_{AH}) / C_{EXT}) \times 100 \quad (\text{Ecuación 3})$$

$$\text{Razón de humificación: (RH)} = ((C_{AF} + C_{AH}) / C_{TOT}) \times 100 \quad (\text{Ecuación 4})$$

$$\text{Relación } C_{AH}/C_{AF} = (C_{AH}/C_{AF}) \quad (\text{Ecuación 5})$$

Donde:

C_{SNH} = carbono orgánico en las sustancias no húmicas.

C_{AF} = carbono orgánico en la fracción de ácidos fúlvicos.

C_{AH} = carbono orgánico en la fracción de ácidos húmicos.

C_{EXT} = carbono orgánico en la fracción extraíble.

C_{TOT} = carbono orgánico total.

El índice de humificación es un parámetro que se mide para determinar si un suelo posee altos contenidos de material humificado o de forma análoga si predominan las sustancias no húmicas, valores menores a la unidad arrojan resultados de material bien humificado y mayores a la unidad si predomina el material no humificado.

El grado de humificación refleja el porcentaje de material humificado con respecto al carbono extraíble, valores mayor del 60% reflejan materiales bien humificados.

La razón de humificación expresa el contenido de material humificado con respecto al carbono orgánico total en términos de porcentaje, valores elevados de este parámetro indican alto contenido de material humificado y características húmicas más acentuadas.

La relación C_{AH}/C_{AF} determina la evolución de los suelos, valores mayores a la unidad indican suelos más evolucionados, es decir, posee mayor formación de moléculas complejas a partir de las más simples.

III.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Se utilizó el método estadístico de análisis de la varianza (ANOVA) que nos permitió determinar si existen diferencias significativas entre las medias de las muestras contaminadas con respecto a las muestras no contaminadas con residuos sólidos urbanos. Por otra parte, se determinó el coeficiente de correlación de Pearson para determinar la correlación entre los parámetros de Humificación obtenidos. Todos los análisis estadísticos se llevaron a cabo con el software Microsoft Office Excel 2007 y StatGraphics Centurion XVI.

Análisis de la varianza (ANOVA): Es una técnica estadística muy potente, que se utiliza para separar y estimar las diferentes causas de variación. Este método permite determinar el contraste de significación en un grupo de

muestras. También, se utiliza para separar la variación debida al error aleatorio o al error controlado, según sea el caso (Miller 2002).

Coefficiente de correlación de Pearson (r): es un índice que mide la relación lineal entre dos variables aleatorias cuantitativas, la correlación de Pearson es independiente de la escala de medida de las variables. El coeficiente de correlación entre dos variables aleatorias X e Y es el cociente como se observa en la Ecuación 5.

$$r = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \sigma_y} \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

σ_{XY} : covarianza de (X, Y)

$\sigma_X^{\wedge} \sigma_Y$: desviaciones típicas de las distribuciones marginales

La interpretación del índice de correlación de Pearson oscila en el intervalo (-1, +1) de la siguiente manera:

- Si $r = 1$** Existe una correlación positiva perfecta. El índice indica una dependencia total entre las dos variables denominada relación directa: cuando una de ellas aumenta, la otra también lo hace en proporción constante.
- Si $0 < r < 1$** Existe una correlación positiva.
No existe relación lineal. Pero esto no necesariamente implica que las variables son independientes: pueden existir todavía relaciones no lineales entre las dos variables.
- Si $r = 0$**
- Si $-1 < r < 0$** Existe una correlación negativa.
Existe una correlación negativa perfecta. El índice indica una dependencia total entre las dos variables llamada relación inversa: cuando una de ellas aumenta, la otra disminuye en proporción constante (Miller, 2002).
- Si $r = -1$**

CAPITULO IV. Análisis de resultados

En este capítulo se analizan los resultados obtenidos, con el fin de evaluar los efectos causados por los desechos sólidos urbanos en la materia orgánica del suelo en las muestras estudiadas procedentes de la zona del Ereigüe en San Joaquín-Estado Carabobo.

IV.1. DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Conocer las principales características físicas y químicas del suelo es de fundamental importancia debido a que, a través de éstas, es posible determinar la calidad, utilidad y funcionalidad de un determinado suelo. En la Tabla 5 se presentan los valores obtenidos para los diferentes parámetros fisicoquímicos en las muestras recolectadas.

Con respecto al pH, se obtienen valores en el intervalo (6,40-7,90), el cual es apropiado según Thayer (1991) para los procesos de humificación y mineralización, debido a que la actividad microbiana es eficiente en un intervalo de pH de 6 y 8, encontrándose los valores reportados dentro del mismo.

Para la CE, se encontraron valores en general ubicados en el intervalo (69-1087) uS.cm^{-1} , por lo tanto este suelo puede ser clasificado como no salino, de acuerdo a Boulding (1994), el cual afirma que suelos con valores menores de 1200 uS.cm^{-1} presentan esta denominación. Sin embargo, se observan en las muestras 6R y 7R un valor de $(1380 \pm 4) \text{ uS.cm}^{-1}$ y 7S un valor de $(1720 \pm 4) \text{ uS.cm}^{-1}$ de lo cual se puede decir, que estas muestras son ligeramente salinas, probablemente debido a que en este terreno había ganado para el momento de la toma de muestras, quizás en estas muestras había restos excretas del ganado presente, el cual altera la cantidad de sales presentes en el suelo.

El contenido de humedad de las muestras arrojó un intervalo de 0,89 a 10,70 %; lo cual indica que este suelo es poco húmedo. La precipitación en este sector tiene un valor medio anual de 1.150 mm, siendo los meses de más baja humedad febrero, marzo y

abril. En esta época el valor vegetal tiende a disminuir, predominando la vegetación de paja y arbustos, propios de este clima (Tauche M, 1995). El muestreo se realizó a mediados del mes de Enero, mes de sequía, razón por la cual, probablemente se obtienen dichos resultados.

Tabla 5. Caracterización fisicoquímica de las muestras de suelo estudiadas. (Fuente: laboratorio de investigaciones bioquímicas FACYT-UC)

Muestra		pH 1:1	Contenido de Humedad (%)	CE (uScm ¹)	CIC (meq/100g suelo)
1	R	6,4 ± 0,1	1,46 ± 0,06	930 ± 38	17 ± 2
	S	6,5 ± 0,1	1,72 ± 0,02	848 ± 16	18 ± 3
2	R	7,2 ± 0,2	7,75 ± 0,09	540 ± 42	18 ± 1
	S	6,9 ± 0,3	2,09 ± 0,04	749 ± 36	26 ± 1
3	R	6,4 ± 0,1	3,48 ± 0,09	350 ± 10	22 ± 5
	S	6,8 ± 0,2	6,95 ± 0,05	650 ± 35	22 ± 6
4	R	7,1 ± 0,2	2,4 ± 0,6	225 ± 5	30 ± 1
	S	7,3 ± 0,1	2,06 ± 0,05	193 ± 5	17,0 ± 0,1
5	S	7,0 ± 0,1	10,70 ± 0,05	168 ± 1	20 ± 7
6	R	6,71 ± 0,01	2,36 ± 0,05	1380 ± 4	20,7 ± 0,7
	S	7,2 ± 0,1	3,98 ± 0,04	1087 ± 5	19 ± 2
7	R	7,6 ± 0,2	10,0 ± 0,3	1380 ± 3	41 ± 1
	S	7,43 ± 0,03	9,6 ± 0,3	1720 ± 4	49 ± 2
8	R	7,23 ± 0,03	0,89 ± 0,05	95 ± 3	45 ± 13
	S	7,5 ± 0,2	7,05 ± 0,08	199 ± 4	48,0 ± 0,3
9	R	7,7 ± 0,4	6,5 ± 0,7	189 ± 4	39,2 ± 0,3
	S	7,9 ± 0,1	8 ± 1	1080 ± 4	38,2 ± 0,3
10	S	6,9 ± 0,1	3 ± 1	69 ± 10	20,0 ± 0,7
C1	S	7,3 ± 0,1	5,3 ± 0,3	157 ± 24	27 ± 6
C2	S	7,0 ± 0,2	1,2 ± 0,4	166 ± 3	29,0 ± 0,6

CE= conductividad eléctrica Hr= humedad relativa Rh= retención de humedad

CIC= capacidad de intercambio catiónico

R= muestra relleno

S= muestra suelo

La CIC presentó valores que se ubican en el intervalo (17-49 meq/100g), presentando este suelo una CIC media, debido a los minerales y tipo de arcilla que lo conforman. La CIC presenta una relación directamente proporcional con el COT, el cual en este caso presentó valores bajos. La CIC de un suelo se incrementa, al aumentar el contenido de materia orgánica de este y así se reducen y hasta evitan las pérdidas por

lixiviación (Jaramillo, 2002), en este suelo esto no ocurre debido a que su alto porcentaje de arena, hace que pierda grandes cantidades de minerales nutrientes por lixiviación hacia el subsuelo.

IV.2. CARBONO ORGANICO TOTAL, MATERIA ORGANICA, Y FRACCIONAMIENTO DE LA MATERIA ORGANICA

En la Tabla 6 se presentan los resultados obtenidos para el contenido del carbono orgánico total (COT), y la materia orgánica total presente en las muestras estudiadas, de lo cual se puede observar que se obtuvo valores entre $(0,27\pm 0,06)$ % y $(5,21\pm 0,54)$ % para el carbono orgánico total, y entre $(0,5\pm 0,1)$ % y $(9,0\pm 0,9)$ % para el contenido de materia orgánica total.

De los resultados obtenidos se puede observar que para el contenido COT de manera general las muestras estudiadas arrojaron resultados con bajo contenido de carbono orgánico, se tiene el caso que para todas las muestras de relleno valores muy bajos de COT y de MOT, esto debido a que se ve favorecido el proceso de mineralización frente a la humificación, y además la textura franco arenosa del suelo, hace que pierda grandes cantidades de minerales nutrientes por lixiviación hacia el subsuelo (Linares, 2011).

Por otra parte se observa que la cantidad de materia orgánica total se ve influenciada por los desechos sólidos urbanos contenidos en el punto donde fueron tomadas las muestras, se tiene el caso de la muestra 2S que arrojó el mayor contenido de carbono orgánico total, probablemente justo en este punto los desechos sólidos arrojados eran residuos orgánicos, restos de comida, animales, entre otros.

Aponte en el año 2011, encontró valores de carbono orgánico total entre $(2,4 \pm 0,1)$ y $(9,5 \pm 0,6)$ %, esto se debió a que sus muestras, a diferencia de las nuestras, estaban contaminadas con hidrocarburos, lo que le confirió mayor porcentaje de carbono orgánico. Durán D. (2011), encontró valores de carbono

orgánico total en un rango de (0,41-1,41) %, para muestras de suelo contaminadas con escoria metalúrgica, que al igual que las muestras, son de textura arenosa.

Tabla 6. Carbono orgánico total (COT), materia orgánica total (MOT) determinados por el método de Walkley-Black en las muestras de suelos estudiadas.

Muestra	COT %	MO%
1R	0,35±0,05	0,6±0,1
1S	0,42±0,10	0,7±0,2
2R	0,96±0,10	1,7±0,2
2S	5,21±0,54	9,0±0,9
3R	0,27±0,06	0,5±0,1
3S	0,91±0,07	1,6±0,1
4R	0,28±0,03	0,5±0,2
4S	0,83±0,09	1,4±0,2
5	3,42±0,47	5,9±0,9
6R	0,31±0,09	1,1±0,1
6S	1,09±0,05	1,9±0,1
7R	0,74±0,10	1,3±0,2
7S	3,44±0,06	5,9±0,1
8R	2,88±0,31	5,0±0,5
8S	0,95±0,11	1,6±0,2
9R	0,31±0,07	0,5±0,1
9S	0,88±0,11	1,5±0,2
10	3,19±0,28	5,5±0,5
C1	4,41±0,50	7,6±0,9
C2	1,35±0,60	2,3±1,0

En la Figura 14, se observa que el contenido de materia orgánica en la mayoría de las muestras es bajo, como se mencionó anteriormente el proceso de mineralización se favorece en estos suelos, además de su textura franco arenosa, cuya característica principal es su formación porosa y arenosa (Tauche M, 1995). En el gráfico se evidencia lo anteriormente descrito para la muestra 2S, con el mayor contenido de carbono materia orgánica del resto de las muestras. Comparando las muestras con los controles se tiene que el C1 posee mayor contenido de COT (4,41±0,50) % , situación parecida la que ocurrió con las muestras 5 (3,42±0,47), 7S (3,44±0,06), 8R (2,88±0,310) y 10 (3,19±0,28) éstos valores son menores al obtenido para

muestra 2S pero mayores al resto de las muestras e incluso parecidos al valor obtenido para la C1 (muestra Control 1), de lo cual se puede decir que en estos puntos el contenido de material humificado también es mayor.

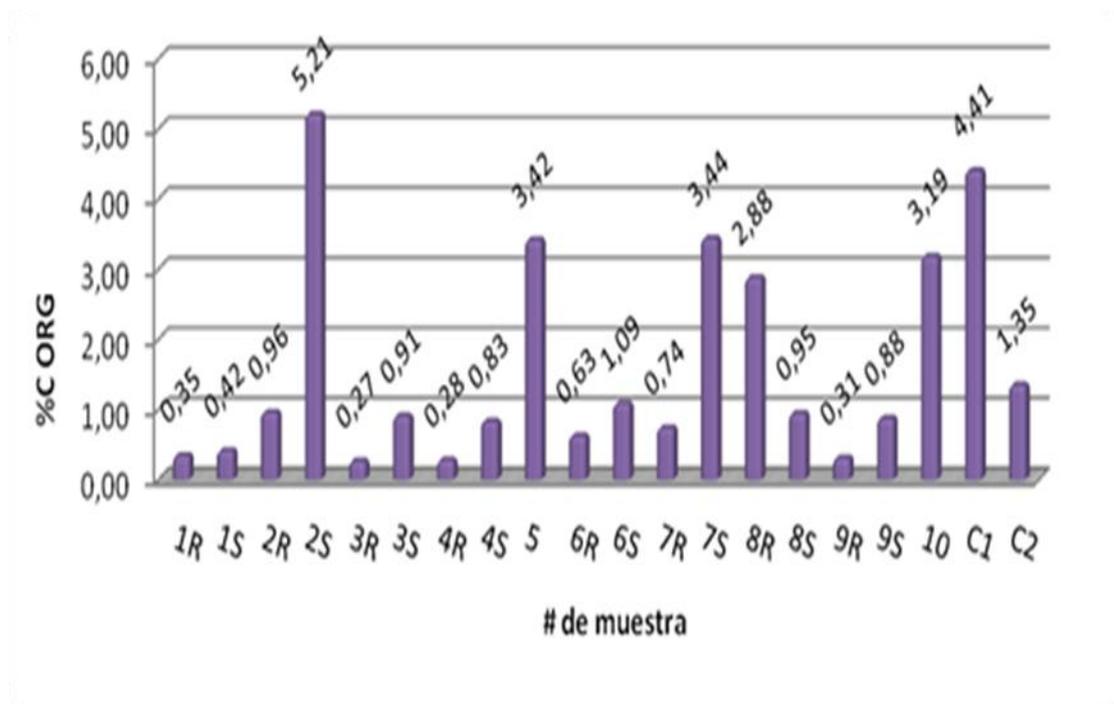


Figura 14. Distribución del contenido de materia orgánica en las muestras estudiadas, contaminadas y no contaminadas con desechos sólidos urbanos.

En general los suelos en estudio son de bajo contenido de materia orgánica (0,27 – 1,09) %, aunque puntualmente posee valores elevados que pudiera explicarse por la heterogeneidad de los residuos urbanos presentes en estos suelos. Sin embargo, la mayor parte de los residuos que aportaron materia orgánica al suelo fue degradada, debido a que la materia orgánica tiene un periodo de degradación que va de 6 a 12 meses, y puede que queden solo compuestos hemicelulosos u otros que son más difíciles de degradar o de largo período de degradación como: latas, vidrio, plásticos, entre otros.

Varios autores, a partir de estudios en suelos agrícolas templados, han marcado el umbral de 2% de C orgánico como un valor por debajo del cual pueden originarse pérdidas importantes de calidad del suelo (Loveland y Webb,

2003). En concreto, por debajo de este valor la estabilidad estructural disminuye mucho (Greenland et al., 1975), situación que se evidencia en las muestras estudiadas en la mayoría de los casos, de lo cual se puede deducir que estamos en presencia de un suelo de muy baja calidad.

El contenido de carbono en las fracciones orgánicas obtenido en las muestras estudiadas se observa en la Tabla 7.

Para efectos del porcentaje de carbono orgánico extraíble se obtuvo como resultado que éste varía entre $(0,18\pm 0,02)$ % y $(1,50\pm 0,01)$ %, observando un comportamiento similar al descrito en el carbono orgánico total. Comparando las muestras problemas con las muestras control, se observa que la muestra 2S $(1,35\pm 0,20)$ % es la más elevada e incluso su valor es muy cercano al valor obtenido en la muestra C1 $(1,50\pm 0,01)$ %, esto es consecuencia de que las muestras fueron tomadas en un vertedero de desechos sólidos urbanos donde la variabilidad de las muestras es amplia, ya que depende de que residuos están en los diferentes puntos donde se tomó la muestra, quizás, para el caso de la 2S, fue un punto donde se arrojó desechos con alto contenido de materia orgánica que haya tardado mucho más en degradarse, ya que el contenido en materia orgánica del suelo varía ampliamente de uno a otro punto.

También se puede observar el caso de la muestra 6 y 8 que tanto el relleno como el suelo se obtuvo valores cercanos de contenido de carbono orgánico para 6R $(0,47\pm 0,02)$ %, para 6S $(0,44\pm 0,03)$ %, para 8R $(0,46\pm 0,03)$ % y para 8S $(0,42\pm 0,02)$ %, probablemente acá se ve favorecido el proceso de mineralización, el cual, reduce drásticamente la acumulación de materia orgánica (Jaramillo, 2002). A diferencia de la cantidad de carbono extraíble contenido en las muestras control que se tomaron cerca de un riachuelo, lo que genera mayor humedad, un área boscosa, factores estos, que favorecen el proceso de humificación, obteniendo un valor mayor.

Tabla 7. Contenido de carbono orgánico y materia orgánica en cada una de las fracciones extraídas.

Muestra	%C _{EXT}	%C _{AF}	%C _{AH}	%C _{SNH}	%M.O _{EXT}	%M.O _{AF}	%M.O _{AH}	%M.O _{SNH}
1R	0,23±0,01	0,06±0,01	0,06±0,01	0,12±0,01	0,40±0,02	0,10±0,01	0,10±0,01	0,20±0,01
1S	0,36±0,03	0,12±0,01	0,10±0,01	0,10±0,02	0,61±0,05	0,21±0,01	0,17±0,01	0,17±0,04
2R	0,28±0,01	0,07±0,01	0,13±0,01	0,12±0,01	0,48±0,01	0,12±0,01	0,22±0,01	0,20±0,01
2S	1,35±0,20	0,13±0,06	0,90±0,08	0,22±0,08	2,32±0,35	0,22±0,11	1,56±0,14	0,39±0,13
3R	0,18±0,02	0,06±0,01	0,07±0,01	0,06±0,01	0,30±0,01	0,11±0,01	0,12±0,01	0,10±0,01
3S	0,57±0,01	0,10±0,01	0,24±0,01	0,20±0,01	0,98±0,01	0,17±0,01	0,41±0,03	0,34±0,01
4R	0,23±0,01	0,06±0,01	0,07±0,01	0,11±0,01	0,39±0,01	0,10±0,02	0,11±0,01	0,18±0,01
4S	0,53±0,03	0,11±0,01	0,17±0,01	0,23±0,03	0,92±0,05	0,18±0,01	0,29±0,01	0,39±0,06
5	0,24±0,01	0,06±0,01	0,09±0,01	0,10±0,01	0,41±0,01	0,10±0,01	0,15±0,01	0,17±0,01
6R	0,47±0,02	0,08±0,01	0,17±0,02	0,16±0,02	0,81±0,03	0,14±0,02	0,29±0,03	0,27±0,04
6S	0,44±0,03	0,15±0,01	0,11±0,01	0,15±0,02	0,76±0,05	0,26±0,01	0,20±0,01	0,26±0,04
7R	0,33±0,02	0,11±0,01	0,12±0,01	0,11±0,06	0,58±0,04	0,19±0,01	0,21±0,01	0,19±0,11
7S	0,43±0,02	0,10±0,02	0,13±0,01	0,16±0,02	0,75±0,03	0,18±0,03	0,23±0,01	0,27±0,04
8R	0,46±0,03	0,16±0,04	0,13±0,01	0,15±0,04	0,80±0,05	0,27±0,07	0,23±0,02	0,27±0,06
8S	0,42±0,02	0,13±0,06	0,06±0,01	0,14±0,05	0,73±0,03	0,22±0,10	0,11±0,01	0,24±0,09
9R	0,30±0,01	0,08±0,07	0,07±0,01	0,08±0,01	0,51±0,01	0,14±0,02	0,12±0,01	0,14±0,01
9S	0,49±0,02	0,14±0,20	0,20±0,01	0,12±0,01	0,85±0,03	0,24±0,01	0,34±0,02	0,21±0,01
10	0,58±0,02	0,17±0,02	0,22±0,01	0,17±0,03	0,99±0,03	0,29±0,04	0,38±0,03	0,29±0,04
C1	1,50±0,01	0,16±0,01	0,95±0,11	0,21±0,08	2,58±0,01	0,28±0,02	1,63±0,19	0,35±0,14
C2	0,61±0,07	0,16±0,01	0,21±0,01	0,19±0,01	1,05±0,12	0,28±0,02	0,36±0,01	0,32±0,01

%C_{EXT} y %M.O_{EXT} = Porcentaje de carbono orgánico extraíble y materia orgánica extraíble

%C_{AH} y %M.O_{AH} = Porcentaje de carbono orgánico en los ácidos húmicos y materia orgánica en los ácidos húmicos

%C_{AF} y %M.O_{AF} = Porcentaje de carbono orgánico en los ácidos fúlvicos y materia orgánica en los ácidos fúlvicos

%C_{SNH} y %M.O_{SNH} = Porcentaje de carbono orgánico en las sustancias no húmicas y materia orgánica en las sustancias no húmicas

Los ácidos húmicos y fúlvicos promueven la formación de agregados estables en el suelo, contribuyendo de este modo a mejorar la estructura de este medio (Waters y Oades, 1991; Swift, 1991). Al estudiar el porcentaje de carbono de los ácidos húmicos, se observa en la Tabla 7, que se obtuvieron valores entre (0,06±0,01) % y (0,95±0,11) %, se tiene un comportamiento similar al del carbono orgánico extraíble, donde en la mayoría de las muestras, el porcentaje de carbono es bajo, y que la muestra 2S posee un mayor contenido de carbono, muy similar al de la muestras C1, es importante recordar que la base de la estructura de los ácidos húmicos está formada por un gran grupo de estructuras aromáticas y

cadena alifáticas. Son de color pardo oscuro y peso molecular muy alto (Murcia, 2007), los ácidos húmicos pueden estar en disolución hasta pH cercano a 2, a partir del cual, los restos acídicos que forman parte de las sustancias húmicas como grupos carboxílicos y fenólicos, se puedan protonar favoreciendo la formación de partes hidrófobas que da lugar a la separación conocida para los AH (Sutton y Sposito, 2005), este es el principio químico por el cual se obtienen los ácidos húmicos en la extracción de las fracciones.

En la Figura 15 se presenta la distribución del contenido de carbono presente en los ácidos húmicos, en la cual se observa un comportamiento similar para todas las muestras exceptuando la 2S y la muestra C1, descritas anteriormente.

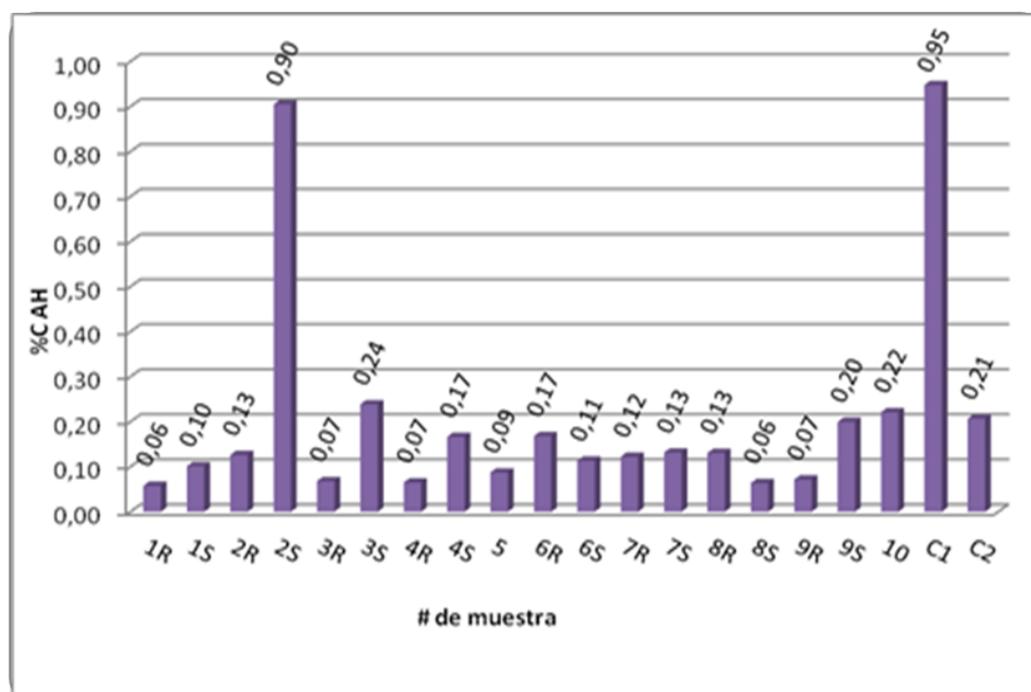


Figura 15. Distribución del contenido carbono en la fracción de ácidos húmicos en las muestras estudiadas, contaminadas y no contaminadas con desechos sólidos urbanos.

Aponte (2011) en su estudio encontró valores para los ácidos húmicos en un intervalo entre $(0.41 \pm 0.05$ y $1.40 \pm 0.06)$ % para los ácidos húmicos a

diferencia de los resultados obtenidos en la presente investigación ($0,06\pm 0,01$ y $0,95\pm 0,11$) %, se observa que en los resultados de Aponte (2011) el contenido de carbono orgánico se ve influenciado por la presencia de hidrocarburos en las muestras. En una investigación hecha para la cuenca del río Maracay, donde determinaron el porcentaje de carbono en las fracciones orgánicas, Sánchez (2005), se obtuvo como resultado que los valores correspondientes al carbono asociado a los ácidos húmicos variaron entre 0,14 y 0,74%, no se observan diferencias significativas entre estos valores y los obtenidos para la presente investigación, siendo comparables debido a que se trata de suelos geográficamente cercanos.

Otra comparación que vale realizar, es la de los resultados obtenidos por Rodríguez et al (2009), quienes realizaron un fraccionamiento de materia orgánica para analizar la contribución al estudio de los lixiviados generados en un relleno sanitario, los cuales obtuvieron un valor para el carbono presente en la fracción de los ácidos húmicos de 0,053%, es un valor bajo, pero que no presenta diferencia significativa con los resultados obtenidos para la mayoría de las muestras estudiadas en la presente investigación, tal es el caso de 1R($0,06\pm 0,01$) %, 3R ($0,07\pm 0,01$) %, 4R ($0,07\pm 0,01$) %, 8S ($0,06\pm 0,01$)% cuyo porcentaje de carbono se encuentra muy cercano al reportado por la bibliografía consultada.

En los suelos estudiados, porcentaje de carbono en la fracción de los ácidos fúlvicos varió entre ($0,06\pm 0,01$ y $0,17\pm 0,02$) %. En la Figura 16 se puede observar la distribución del contenido de carbono orgánico obtenido para la fracción de los ácidos fúlvicos en las muestras estudiadas, allí se aprecia que para las muestras 1S, 2S, 3S, 4S, 7R, 7S, 8S y 9S se obtuvo un intervalo que va desde 0,10 a 0,14%; para las muestras 6S, 8R, 10, C1 y C2 un intervalo entre 0,15 y 0,16% y el resto de las muestras se observa que el valor obtenido está por debajo.

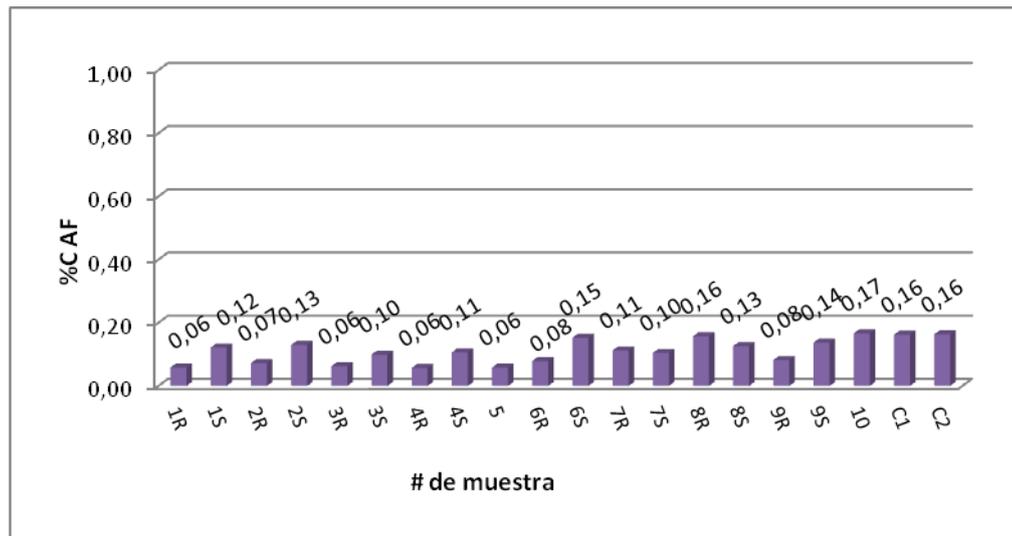


Figura 16. Distribución del contenido carbono en la fracción de ácidos fúlvicos en las muestras estudiadas, contaminadas y no contaminadas con desechos sólidos urbanos.

Para el carbono presente en las sustancias no húmicas se observa en la Tabla 7 que el intervalo obtenido es de $(0,06 \pm 0,01$ y $0,23 \pm 0,03)$ %, observando, al igual que en los ácidos húmicos y ácidos fúlvicos, valores pequeños de carbono orgánico presente en los mismos, en la Figura 17 se observa la distribución de carbono en la fracción de sustancias no húmicas encontrándose caso como las muestras 2S, 3S y 4S que obtuvieron valores similares a los obtenidos para las muestras control, de manera general se observa que las SNH en las muestras estudiadas se encuentran en mayor proporción a la de los AF, favoreciendo así el proceso de mineralización y no el de humificación.

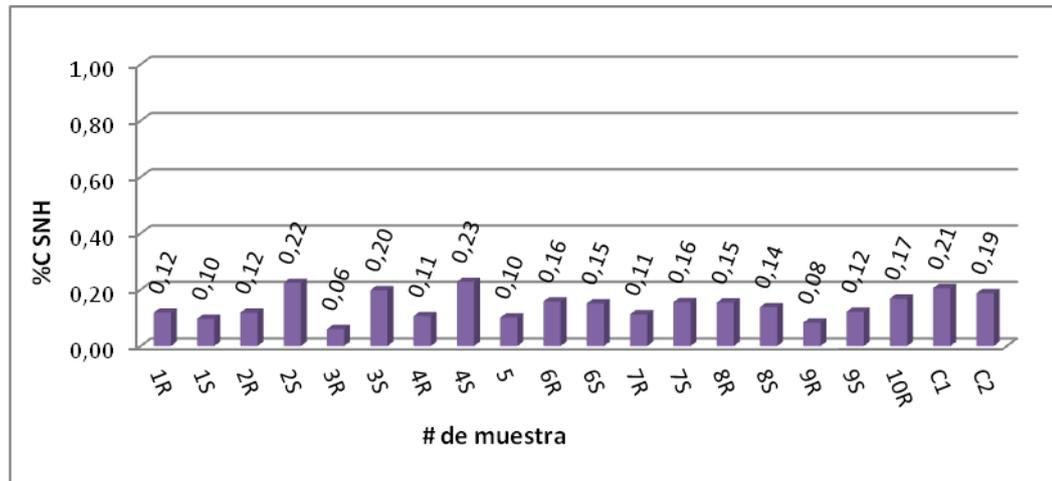


Figura 17. Distribución del contenido carbono en la fracción de sustancias no húmicas en las muestras estudiadas, contaminadas y no contaminadas con desechos sólidos urbanos.

IV.3. PARAMETROS DE HUMIFICACION

Sabemos que la materia orgánica del suelo es considerada un indicador de su calidad, ya que influye en las propiedades químicas, físicas y biológicas de éste. Con el fin de evaluar la calidad de la materia orgánica presente en las muestras en estudio se determinaron diferentes parámetros de humificación: índice de humificación (IH), grado de humificación (GH), razón de humificación (RH), y relación del carbono de ácidos húmicos y ácidos fúlvicos (CAH/CAF), los valores obtenidos se observan en la Tabla 8.

El índice de humificación, $SNH / (AH+AF)$, puede ser considerado como un valor útil para determinar si un suelo o enmienda orgánica posee altos contenidos de material humificado o, por el contrario, predomina la materia no humificada (Sequi et al., 1986). Para este parámetro se observó un intervalo entre $(0,18 \pm 0,06$ y $1,02 \pm 0,01)$, en general se puede decir que en las muestras estudiadas predomina el material humificado, por lo que contienen menos moléculas orgánicas de estructura definida como carbohidratos, proteínas, lípidos entre otros. Para la muestra C1, se observa un valor bajo $(0,18 \pm 0,06)$ en comparación con el resto de las muestras, una posible explicación es que para el punto donde se tomó

esta muestra, posee condiciones más favorables en cuanto contenido de humedad y materia orgánica.

En el estudio realizado por Armado et al (2009), obtuvieron valores para el índice de humificación ente (0,6±0,2 y 1,3±0,5), los cuales no muestran diferencias significativas con los resultados obtenidos de la presente investigación indicando que los suelos tienen un grado de evolución similar aunque sean de diferentes zonas del país.

Los valores reportados por Ruiz y Paolini (2005) se observa que nuestros valores están en algunos casos por debajo de éstos, ya que para su investigación, las muestras se veían afectadas por diferentes aguas de riego, en el caso de las muestras afectadas por la diversidad de desechos sólidos.

Tabla 8. Parámetros de humificación en las muestras de suelos estudiadas

Muestra	IH	GH%	CAH/CAF	RH%
M1R	1,02±0,01	50±2	1,0±0,2	30,62±2,70
M1S	0,43±0,09	63±1	0,8±0,1	53,38±0,34
M2R	0,60±0,03	71±1	1,7±0,1	20,64±0,55
M2S	0,21±0,05	77±3	7,7±0,2	19,85±2,74
M3R	0,46±0,07	74±6	1,1±0,1	48,56±5,68
M3S	0,59±0,05	60±3	2,4±0,1	37,15±2,81
M4R	0,88±0,12	53±5	1,2±0,2	43,16±6,56
M4S	0,84±0,17	51±2	1,6±0,1	32,71±1,58
M5	0,69±0,03	62±1	1,5±0,1	4,27±0,05
M6R	0,65±0,16	52±5	2,1±0,1	39,41±4,53
M6S	0,57±0,07	61±1	0,7±0,1	24,49±0,48
M7R	0,48±0,28	70±1	1,1±0,1	31,62±0,45
M7S	0,66±0,14	55±1	1,3±0,2	6,86±0,42
M8R	0,55±0,22	63±2	0,9±0,1	9,99±1,75
M8S	0,82±0,55	45±7	0,6±0,2	20,03±6,72
M9R	0,54±0,06	52±3	0,9±0,1	49,27±2,75
M9S	0,36±0,03	68±1	1,5±0,2	38,48±0,76
M10	0,43±0,07	67±1	1,3±0,3	12,16±0,18
MC1	0,18±0,06	74±2	5,9±1,0	25,19±2,31
MC2	0,51±0,01	61±1	1,3±0,1	27,37±0,72

En negrita los valores máximo y mínimo obtenidos para cada parámetro de humificación

Los valores de grado de humificación (GH), el cual indica la proporción de AH y AF referente a la proporción de C_{EXT} , en los suelos estudiados variaron entre $(45\pm 7$ y $77\pm 3)$ %, según Rivero (1999), para materiales bien humificados tales como suelos y ciertas enmiendas orgánicas que presentan valores de GH mayores al 60% se puede decir que contienen materiales bien estabilizados; para el caso de las muestras estudiadas se obtuvo que las muestras con estas características fueron 1S, 2R, 2S, 3R, 3S, 5, 6S, 7R, 8R, 9S y 10, C1 y C2. Para el resto de las muestras se obtuvo valores bajos que probablemente se deban a que los puntos donde se tomaron estas muestras contenían residuos sólidos con materia orgánica no humificada. En la investigación presentada por Ruiz y Paolini (2005), encontraron valores para el GH entre 75,6 y 90%, siendo estos valores mayor a 60% atribuyendo esta diferencia al agua de riego utilizada en las muestras estudiadas ya que unas son tratadas y otras no, conteniendo así compuestos no húmicos disueltos en las mismas. En el caso de Aponte (2011), el comportamiento general para GH reveló mayor grado de humificación debido a que sus muestras estaban impactadas con hidrocarburos, produciendo un incremento en las fracciones de carbono humificado y a su vez en la fracción de carbono extraíble.

Para el caso de la relación C_{AH}/C_{AF} se observa en la Tabla 8, que para la mayoría de las muestras se obtuvo un valor muy cercano o mayor a la unidad. Brito (1975) reportó que los suelos más evolucionados tienen una relación C_{AH}/C_{AF} mayor a la unidad, para los resultados obtenidos en nuestro caso, se tiene la muestra 8S con un valor de 0,6 de lo que se puede decir, según la clasificación de Brito (1975) que esta muestra es un suelo menos evolucionado a diferencia del resto de las muestras que obtuvieron valores mayores de la unidad, siendo estas muestras, más evolucionadas, en las cuales se obtuvo mayor cantidad de ácidos húmicos que ácidos fúlvicos.

Al evaluar la forma de representar el porcentaje de carbono de las sustancias húmicas con respecto al carbono orgánico total, por medio de la razón de humificación (RH) se obtuvieron valores para las muestras que se encuentran entre $(4,27\pm 0,05$ y $53,38\pm 0,34)$ %, la variabilidad de estos resultados probablemente se deba a la diversa cantidad de los desechos urbanos, ya que no

es controlable la uniformidad de los mismos en las muestras. Se observa que para las muestras 5, 7R y 8R arrojaron resultados por debajo del 10%, de lo cual se puede inferir que estas muestras poseen menor cantidad de moléculas complejas, por ende menos características húmicas (Ciavatta, C 1900). Además, de que el material extraíble de estas muestras fue poco respecto al carbono orgánico total. En el estudio de Ruiz y Paolini (2005) en suelos cultivados bajo reportan un intervalo que está por debajo del obtenido en la presente investigación, viéndose influenciado por las diferentes aguas de riego.

IV.4. CORRELACIÓN DEL CONTENIDO DE CARBONO ORGÁNICO TOTAL CON CADA UNA DE SUS FRACCIONES Y PARAMETROS DE HUMIFICACIÓN

En la Tabla 9 se muestran los resultados obtenidos al evaluar la correlación producto de Pearson de los parámetros de humificación, el carbono total, el carbono extraíble y el carbono presente en cada una de las fracciones.

Tabla 9. Correlación entre carbono orgánico total, carbono extraíble, carbono en las fracciones y parámetros de humificación en muestras de suelo contaminadas y no contaminadas con desechos sólidos urbanos.

	COT	CEXT	AH	AF	SNH	IH	RH	GH	CAH/CAF
COT		0,7265 0,0003*	0,7308 0,0003*	0,4287 0,0593	0,5124 0,0209*	-0,529 0,0165*	-0,7122 0,0004*	0,4472 0,0481*	0,7013 0,0006*
CEXT			0,9747 0,000*	0,5662 0,0093*	0,7331 0,0002*	-0,6356 0,0026*	-0,2121 0,3694	0,454 0,0443*	0,9017 0,0000*
AH				0,4125 0,0707	0,6247 0,0032*	-0,6706 0,0012*	-0,1716 0,4693	0,5575 0,0107*	0,9616 0,000*
AF					0,5446 0,013*	-0,4155 0,0684	-0,308 0,1864	0,2648 0,2592	0,2126 0,3681
SNH						-0,2902 0,2145	-0,35 0,1304	0,0418 0,861	0,5801 0,0073*
IH							-0,0111 0,9631	-0,7827 0,00000*	-0,6141 0,004*
RH								-0,0826 0,7293	-0,1478 0,5342
GH									0,5305 0,0161*

* P valor < 0,005 indica correlación significativa.

Los valores-P abajo de 0,05 indican correlaciones significativas, con un nivel de confianza del 95,0%. El carbono orgánico total presento correlación lineal positiva con CEXT, AH, SNH, IH, GH, Relación C_{AH}/C_{AF} y RH pero no presento correlación con AF. Aponte (2011) en sus resultados reporta que el carbono orgánico total presentó correlación con CEXT, CAH, CAF y CAF y no presentó correlación lineal con el índice de humificación, a diferencia de nuestros resultados.

El carbono extraíble presentó correlación lineal positiva con AH, AF, SNH y presento correlación lineal negativa con IH, GH, y Relación CAH/CAF. Los ácidos húmicos mostraron correlación significativa con SNH, IH, GH y Relación CAH/CAF. Los AF solo mostraron correlación significativa con las SNH. El índice de humificación mostró correlación lineal negativa con el GH y Relación CAH/CAF y el GH mostro correlación significativa con Relación CAH/CAF

En la Tabla 9 se puede observar que el índice de humificación muestra correlaciones significativas negativas con las fracciones de carbono orgánico COT, CEXT y CAF, lo que indica que a medida que aumenta la cantidad de carbono en cada fracción disminuye el valor de IH. A diferencia de la relación CAH/CAF arrojó resultados de correlación significativa positiva con las fracciones de COT, CEXT, CAF y CSN indicando que a medida que aumenta la cantidad de carbono en estas fracciones también crece esta relación.

Los parámetros IH y la relación CAH/CAF fueron, de los parámetros de humificación estudiados, los que mostraron mejores correlaciones con la mayoría de las fracciones de carbono orgánico y entre ellos. Sin embargo, las correlaciones más significativas (valores de R^2 más cercanos a 1) se obtuvieron entre la relación CAH/CAF y las fracciones COT, CEXT y CAF. Por esta razón se puede señalar como un buen indicador de la calidad de la materia orgánica de estos suelos. Armado et al (2009) de manera similar, encontraron que la relación C_{AH}/C_{AF} se comporta como un parámetro indicador de la calidad del suelo, ya que muestra correlación significativa con la mayoría de las fracciones de carbono extraído.

CAPITULO V. Conclusiones y recomendaciones

- Se observó que para el contenido de materia orgánica total de manera general en las muestras estudiadas es bajo.
- Los valores obtenidos para el porcentaje de carbono en la fracción de los ácidos húmicos por lo general mostraron tendencia mayor que para el carbono en la fracción de los ácidos fúlvicos.
- Por medio del valor del índice de humificación se observó que la mayoría de las muestras contienen mayor cantidad de material humificado.
- Los valores de la relación CAH/CAF para la mayoría de las muestras resultaron ser mayor a la unidad lo que indica que se trata de muestras de suelo evolucionado.
- El carbono orgánico total presentó correlación lineal significativa con CEXT, AH, SNH, GH, Relación CAH/CAF, IH y RH.
- El carbono extraíble presentó correlación lineal significativa con CAH, CAF, CSNH, IH, GH, y Relación CAH/CAF.
- El carbono de los ácidos húmicos mostró correlación significativa con la SNH, IH, GH, Relación CAH/CAF.
- El CAF solo mostró correlación con las sustancias no húmicas.
- El índice de humificación mostró correlación con el GH y Relación CAH/CAF y las fracciones CEXT, CAH y COT.
- El grado de humificación mostró correlación significativa con Relación C_{AH}/C_{AF} , IH y las fracciones CEXT, CAH y COT.

- De los parámetros de humificación estudiados el que arrojó mejores resultados como indicador de la calidad de la materia orgánica del suelo fue la relación CAH/CAF ya que mostró las correlaciones más significativas con las fracciones orgánicas obtenidas.
- Se recomienda implementar un sistema para el incremento de materia orgánica en estos suelos como por ejemplo un sistema de riego, siembra de grama, arbustos, entre otros ya que se trata de un suelo degradado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- **Abad, M. 1998.** Limitaciones y riesgos del uso agrícola de los residuos orgánicos. En: Residuos orgánicos: Aprovechamiento agrícola como abono y sustrato. 2ª Ed. SCCS - Universidad Nacional de Colombia. Medellín. pp. 9-19.
- **Aponte S. (2011)** T.E.G. Efecto del petróleo sobre los parámetros de humificación en un suelo contaminado. Laboratorio de Investigaciones Bioquímicas FACYT-UC. Pp 107
- **Armado A. (2011).** Parámetros fisicoquímicos y bioquímicos como indicadores de la actividad microbiológica en suelos cacaoteros del occidente de Venezuela. Tesis Doctoral. Universidad de los Andes; Facultad de Ciencias, Departamento de Biología, Postgrado de Biotecnología de Microorganismos. Pp 132.
- **Armado, A.; Contreras, F.; García, P. (2009).** Fraccionamiento químico de carbono orgánico y su relación con la actividad microbiológica, biomasa microbiana y cantidad de ADN en suelos cacaoteros venezolanos. Revista de la Sociedad Química del Perú, 75(1): 44-52.
- **Ayuso, M (1995).** Utilización de residuos urbanos como enmiendas orgánicas solidas y liquidas: valoración agronómica y efectividad frente a enmiendas tradicionales. Tesis Doctoral. CEBAS- CSIC. Murcia.
- **Bejarano B. (2011).** T.E.G. Estudio de actividades enzimáticas involucradas en el Ciclo del Nitrógeno en suelos impactados con desechos sólidos ubicados en la zona del Ereigüe -Estado Carabobo. Laboratorio de Investigaciones Bioquímicas FACYT-UC. Pp 107
- **Boulding R.J. (1994).** Description and sampling of contaminated soils. 2a edition. Lewis Publishers. EUA
- **Brito, J.G (1975).** Caracteres de la material organic en algunos suelos del estado Yaracuy. Agron. Top.; 26 (4), 337-3

- **Broadbent, F (1965).** Organic matter, *In: Methods of Soil Analysis. Part. 2.* Amer. Soc. of Agron, 9: 1397-1400.
- **Ciavatta, C.; Antisari, L.; and Sequi, P (1991).** Humification Parameters of Organic Materials Applied to soil. En: Humic substance in the aquatic and terrestrial environment (Allard, B.; Boren, H. and Grimvalt, A. eds.) Lectures notes in Earth Sciences. Springer Verlag, Berlin; 1991. p. 177-185.
- **Ciavatta, C.; M. Govi. Vittori.; P. Sequi. (1990).** Use of insoluble polyvinylpyrrolidone and isoelectric focusing in the study of humics substances in soil and organic wastes. *J.Chromat.* 643:261-270.
- **Dorronsoro F. (2007).** Edafología. [En línea] Universidad de Granada España 2007. Disponible en <http://www.edafologia.net/conta/tema10/degra.htm#anchor1196071>. Fecha de consulta [28 de enero 2011]
- **Duran D. (2001).** T.E.D. Determinación del impacto de la actividad metalúrgica sobre propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Laboratorio de Investigaciones Bioquímicas FACYT-UC. Pp 107.
- **Fassbender, H (1980).** Química de Suelos con énfasis en suelos de América Latina. San José, Costa Rica, I.I.C.A. 398 p.
- **Frostergård Å.; Bååth, E.; Tunlid, A. (1993).** Shifts in the structure of soil microbial communities in limed forests as revealed by phospholipid fatty acid analysis. *Soil Biol. Biochem*, 25: 723-730.
- **García, J.; Gil, G. (2001).** Efectos residuales y acumulativos producidos por la aplicación de compost de residuos urbanos y lodos de depuradoras sobre Agrosistemas mediterráneos degradados. Disponible en <http://www.quimicosmadrid.org/doc/lododepu.pdf> . Fecha de consulta [01 de febrero 2011]
- **Greenland D.J., Rimmer, D., Payne, D. (1975).** Determination of structural stability class of English and Welsh soils, using a water coherence test. *J. Soil Sci.* 26: 294-303.
- **Hernando, I.; Hernando, J.; Ares, A. (2003).** Caracterización del humus de suelos del macizo de Ayllón. *Revista Ecología de España*, (17): 77-85.

- **Jackson, L (1964).** Análisis químico de suelos (Traducido por J. Bertrán). Ediciones Omega, S. A. Barcelona, España. 662 p.
- **Jaramillo, J. (2002).** Introducción a la ciencia del suelo. Universidad Nacional de Colombia. 1^{era} Edición. Pp: 415- 450.
- **Jenkinson, D (1988).** S. Soil organic matter and its dynamics. In: Wild, A (Ed) Russel's soil conditions and plant growth. 11th ed. Longman. New York, USA;. P.564-607.
- **Kononova, M.M. (1982).** "Materia orgánica del suelo. Su naturaleza propiedades y métodos de investigación". Ed. Oikos-Tau. Pp. 268-283. Barcelona.
- **Leone I. A., Flower F.H., Gilman E.F., Arthur J.J., (1979).** Adapting woody and planting techniques in landfill conditions. Report of US Environmental Protection Agency research laboratory Public Work.: 74-75.
- **Linares D (2011).** T.E.G. Diversidad catabólica como bioindicador de la calidad en suelos ubicados en el sector el Ereigüe, San Joaquín estado Carabobo. Laboratorio de Investigaciones Bioquímicas FACYT-UC. Pp 73
- **Loveland P., Webb J. (2003).** Is there a critical level of organic matter in the agricultural soils of temperate regions: a review. *Soil Till. Res.* 70: 1-18.
- **Lozano Z. (2006),** Muestreo con fines de caracterización y evaluación de propiedades de los suelos. *Revista venezuelos* 14:70-79
- **Lozano, Z.; Bravo, C.; Hernández, M.; Dell'Abate M.; Alianello F.; Benedetti A. (2002).** Efecto de cultivos de cobertura de diferentes calidades sobre la materia orgánica de dos suelos venezolanos. *Revista venezuelos* 10(1 y 2):47-60.
- **Meléndez, G (2003)** residuos orgánicos y materia orgánica del suelo. Taller de abonos orgánicos. Costa Rica 2003, disponible en <http://www.catie.ac.cr/BancoMedios/Documentos%20PDF/version%20electronica%20memoria.pdf> Fecha de consulta [27 de enero de 2011].

- **Miller, J (2002).** Estadística y quimiometría para química analítica 4^{ta} edición. Editorial Pearson. Pp: 278.
- **Murcia (2007).** “extracción de materia orgánica soluble (mos) de un compost de orujo de oliva de dos fases”. Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura (CEBAS-CSIC). Pp 92.
- **Navarro, G. (2003).** Química agrícola, el suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal. Segunda edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid 2003. P.p. 487.
- **Olarte. L. I. (1979)** Métodos analíticos del laboratorio de suelos 4ta Ed. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Bogotá, Colombia. 664pp.
- **Palma, J.; Valenzuela, P.; Espinace, R. (1999).** Reducción de los tiempos de estabilización en rellenos sanitarios operados con recirculación de lixiviados tratados. Universidad Católica de Valparaíso. Disponible en <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/resisoli/iii-137.pdf>. Fecha de consulta [25 de enero de 2011]
- **Pastor, J.; Hernández A. (2002).** Estudio de suelos de vertederos sellados y de sus especies vegetales espontáneas para la fitorrestauración de suelos degradados y contaminados del centro de España. Revista Anales de Biología 24: 145-153, 2002.
- **Paul, E. A.; F. E. Clark. (1989).** Soil microbiology and biochemistry. Academic Press Inc. Londres. 275 Pp.
- **Rivero C (2001).** La materia orgánica estable del suelo y su caracterización. Revista venezuelos 9(1 y 2):5-15
- **Rivero, C. (1999).** Materia orgánica del suelo. Revista Alcance 57. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Maracay. 211p.
- **Rodríguez, P.; Ticante, J.; Vázquez, R.; Muñoz G. (2009)** Contribución al estudio de los lixiviados generados en el relleno sanitario. Disponible en http://www.uaemex.mx/Red_Ambientales/docs/memorias/Extenso/TA/EC/TAC-10.pdf. Fecha de consulta [06 de febrero de 2011].

- **Ruiz M. y Paolini J (2005).** Parámetros de humificación en suelos cultivados bajo riego. *Agrochimica*, Vol IL-N. 1-2
- **Sanchez-Moendro (2002)** effects of HCl-HF purification treatment on chemical composition and structure of acids. *European Journal of soils Science* 53: 375-381.
- **Schnitzer, M (1990).** Select methods for the characterization of soil humics substances. *American Society of Agronomy & Soil Science Society of America*, Pp: 165- 189.
- **Schnitzer, M and Khan, S (1972).** Humic substances in the environment. *Soil Science*, 151: 41-58.
- **Schollenberger C, Simon R.** Determination of exchange capacity and exchangeable bases in soil- Ammonium acetate method. *Soil Sci.*, 59, 13-24 (1945).
- **Sequi P.; Nobili, M. De; Leita, L. and Cercignani, G (1986).** A new index of humification. *Agrochim* 1986 30(1-2): 175-179.
- **Shulten, H and Schnitzer, M (1993).** A state of the art structural concept for humic substance. *Geo Sci*, 10 (2): 117- 145.
- **Sutton, R., Sposito, G., (2005).** Molecular structure in humic substances: the new view. *Environ. Sci. Technol.* 39, 9011–9015.
- **Swift, R. S. (1991).** Effects of humic substances and polysaccharides on soil aggregation. **In:** *Advances in Soil organic matter research: The impact on agriculture and the environment* (Wilson, W. S., editor). The Royal Society of Chemistry. Thomas Graham House, Cambridge. 206 p.
- **Tauche M. (1992).** Utilización de una cepa microbiana heterogénea aerobia en la depuración de acuíferos en áreas del Vertedero de Basura en San Joaquín, Estado Carabobo (Venezuela). Instituto Universitario de Tecnología de Valencia. Disponible [http:// www.bvsde. paho.org/bvsaidis/ caliagua/peru/vencca002.pdf](http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/caliagua/peru/vencca002.pdf) . Fecha de consulta [25 de enero de 2011]

- **Tauche M. (1995).** Utilización de una cepa microbiana heterogénea aeróbica en la depuración de acuíferos en áreas del vertedero San Joaquín, estado Carabobo (Venezuela). Instituto Universitario de Tecnología Valencia
- **Thayer, A. M. (1991).** Bioremediation: Innovative technology for cleaning up azardous waste. *Chemical Engineering News*. 26 23-42
- **Toutain, F. (1981)** Les humus forestiers, structures et modes du fractionnement. *Revue Forestière Française*. Nancy.
- **Walinga.; Kithome, I.; Novozamsky, V.J.G.; Van der Lee, H.; Van der Lee, J (1992).** Spectrophotometric determination of organic carbon in soil. *Community Soil Sci*, (15-16): 1935-1944.
- **Walkley, A.; Black, I (1934).** An examination of the Degtjaeff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci*, 37: 29-38.
- **Waters, a. G. y J. M. Oades. (1991).** Organic matter in water-stable aggregates. **In:** *Advances in Soil organic matter research: The impact on agriculture and the environment* (Wilson, W. S., editor). The Royal Society of Chemistry. Thomas Graham House, Cambridge. 206 p.
- **Yeates C.; Gillings, M. R.; Davison, A. D.; Altavilla, N. and Veal, D. A** Methods for microbial DNA extraction from soil for PCR amplification. *Biologic*.1998, 41-47.

APÉNDICES

Tabla 10. Datos para la curva de calibración realizada

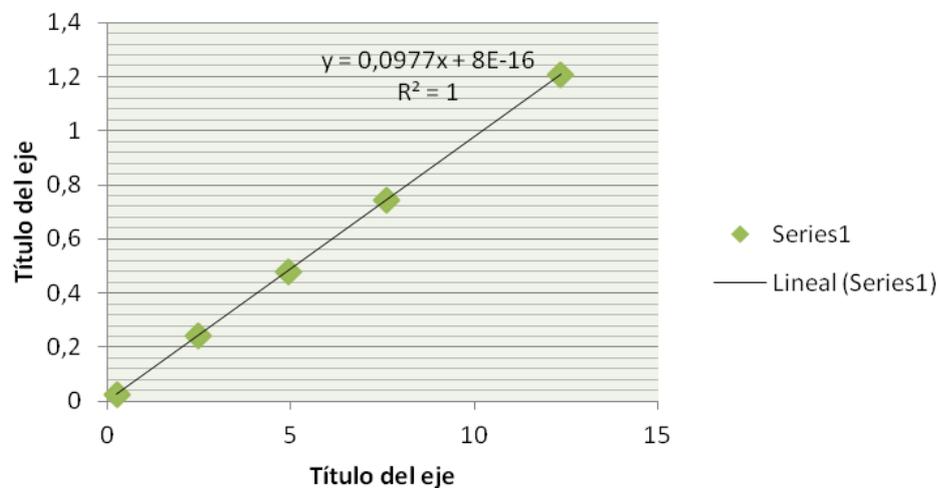
Patron	Volumen de la alicuota (50mg/L)	[] Patrón (mgC/L)	[]r de C (mg/L)	Abs 600nm
A	0	0	0,2558	0,025
B	5	2,5	2,4974	0,244
C	10	5	4,9232	0,481
D	15	7,5	7,6151	0,744
E	20	10	12,3541	1,207

Tabla 11. Datos para determinación de carbono orgánico total

muestra	masa a	masa b	masa c	abs a	abs b	abs c
M1R	0,1005	0,1002	0,1099	0,033	0,03	0,043
M1S	0,1417	0,1112	0,1322	0,04	0,055	0,059
M2R	0,1036	0,1438	0,1123	0,103	0,119	0,112
M2S	0,1223	0,1653	0,1053	0,61	0,764	0,597
M3R	0,108	0,152	0,1496	0,035	0,037	0,033
M3S	0,113	0,118	0,1002	0,091	0,11	0,093
M4R	0,1106	0,1034	0,1307	0,034	0,027	0,034
M4S	0,1008	0,1122	0,1021	0,073	0,092	0,092
M5	0,1153	0,1298	0,1522	0,446	0,407	0,460
M6R	0,1071	0,1569	0,113	0,067	0,082	0,078
M6S	0,1269	0,1222	0,1011	0,135	0,136	0,102
M7R	0,1333	0,1052	0,1143	0,098	0,066	0,093
M7S	0,1011	0,1034	0,1044	0,335	0,355	0,349
M8R	0,1044	0,165	0,1173	0,328	0,418	0,326
M8S	0,1438	0,1041	0,1243	0,118	0,107	0,116
M9R	0,103	0,1524	0,1052	0,038	0,047	0,025
M9S	0,1028	0,1005	0,1006	0,083	0,098	0,079
M10	0,1205	0,1299	0,1256	0,341	0,439	0,394
MC1	0,1192	0,1429	0,1364	0,575	0,549	0,58
MC2	0,1723	0,1131	0,1586	0,112	0,176	0,279

Tabla 12. Datos para determinación del fraccionamiento orgánico

muestras tomadas		carbono		ácidos		ácidos		sustancias	
masa a	masa b	abs a	abs b	abs a	abs b	abs a	abs b	abs a	abs b
10,081	10,2257	0,12	0,112	0,055	0,0600	0,063	0,053	0,12	0,115
10,1537	10,0615	0,186	0,165	0,101	0,0990	0,121	0,119	0,111	0,08
10,0369	10,0673	0,136	0,137	0,121	0,1270	0,07	0,072	0,118	0,116
10,0855	10,1035	0,592	0,744	0,836	0,9450	0,084	0,174	0,167	0,274
9,998	10,0424	0,081	0,092	0,062	0,0720	0,055	0,067	0,06	0,057
10,0807	10,0674	0,279	0,278	0,222	0,2490	0,093	0,102	0,196	0,194
10,0567	10,3211	0,113	0,112	0,061	0,0670	0,046	0,066	0,103	0,105
10,446	10,0103	0,262	0,271	0,174	0,1600	0,114	0,099	0,207	0,248
10,1222	10,0423	0,117	0,116	0,086	0,0890	0,057	0,058	0,102	0,099
10,0503	10,0733	0,226	0,243	0,152	0,1780	0,071	0,086	0,17	0,14
10,1266	10,045	0,228	0,205	0,116	0,1080	0,151	0,149	0,165	0,133
10,0866	10,0583	0,173	0,156	0,124	0,1170	0,105	0,116	0,156	0,066
10,3032	10,0378	0,225	0,206	0,132	0,1300	0,116	0,092	0,14	0,169
10,3766	10,0663	0,247	0,217	0,125	0,1360	0,131	0,182	0,182	0,126
10,0208	10,0192	0,213	0,203	0,059	0,0660	0,083	0,165	0,171	0,099
10,1844	10,2366	0,15	0,144	0,073	0,0690	0,074	0,088	0,086	0,078
10,0025	10,3863	0,248	0,237	0,204	0,1870	0,13	0,139	0,114	0,124
10,0332	10,2035	0,289	0,276	0,227	0,2110	0,149	0,177	0,183	0,15
10,0686	10,1697	0,737	0,749	1,01	0,8820	0,153	0,169	0,26	0,149
10,4766	10,1499	0,336	0,284	0,21	0,2080	0,176	0,157	0,192	0,187

**Figura 18. Curva de calibración de carbono**