



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

**EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE UN COMPOST SOBRE PROPIEDADES  
FISICOQUÍMICAS, PARÁMETROS DE HUMIFICACIÓN Y  
FITOTÓXICIDAD EN UN SUELO AGRÍCOLA**

**Elaborado por: Br. María A. Soteldo H.**

**Bárbula, Julio, 2016**



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

**EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE UN COMPOST SOBRE PROPIEDADES  
FISICOQUÍMICAS, PARÁMETROS DE HUMIFICACIÓN Y  
FITOTÓXICIDAD EN UN SUELO AGRÍCOLA**

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

**TUTOR (es):**  
**Prof. Arnaldo Armado**  
**Prof. Julissa Brizuela**

**AUTOR:**  
**Br. María A. Soteldo H.**  
**V-20.386.695**

**Bárbula, Julio, 2016**

## **DEDICATORIA**

*“Una meta es aquel logro alcanzado con gran esfuerzo y motivación,  
en conjunto al apoyo otorgado de aquellos que con mucho o poco  
brindaron esa ayuda que impulsó su culminación”*

*Le dedico este logro a mi Madre bella y encantadora,  
que con su amor y apoyo incondicional,  
me dio las alas para seguir adelante hasta el final.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Por aquellas personas amadas, amigas, conocidas y compañeras, quisiera regresarles su apoyo con el siguiente agradecimiento:

A mi Madre, dándome el apoyo y amor incondicional que he necesitado para alcanzar todas mis metas propuestas, le agradezco por esta primera meta profesional.

A mi tía Leonor, siendo una segunda madre para mí, apoyándome incondicionalmente en todas las necesidades que he tenido a lo largo de mi carrera hasta el día de hoy.

A mi novio Carlos, por tolerar mis cambios emocionales, días de estrés y demás, brindándome su amor y dándome fuerzas para creer en mí.

A mis amigos Geraldine, Jhonder y Marielys, quienes me apoyaron con su amistad, motivaciones, y apoyo en diferentes etapas de mi carrera.

A mi Nani Antonieta, le agradezco por todo el aprendizaje que influyó dentro y fuera de mi vida académica, el cual ha hecho de mí la persona que soy ahora.

A mis tutores y jurados, quienes me orientaron en todo momento en la realización de este trabajo que enmarca el último escalón de esta primera meta hacia un futuro profesional mejorando el proceso de enseñanza y aprendizaje.

Finalmente quisiera agradecer a la vida misma, que me dio la oportunidad de formar el destino que elegí vivir, y tener a todas estas personas maravillosas a mi lado.



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



## EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE UN COMPOST SOBRE PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS, PARÁMETROS DE HUMIFICACIÓN Y FITOTÓXICIDAD EN UN SUELO AGRÍCOLA

**Autor: Br. Maria A. Soteldo H.**

**Tutor(es): Prof. Arnaldo Armado y Prof. Julissa Brizuela**

### RESUMEN

El compostaje se ha visto como alternativa de gestión de residuos orgánicos, pero ha sido difícil determinar su calidad en cuanto al efecto que este tiene en su aplicación como enmienda orgánica en suelos. Es por ello que en la presente investigación se planteó estudiar el efecto de un compost sobre propiedades fisicoquímicas, parámetros de humificación y fitotóxicidad de un suelo agrícola ubicado en el Sector Lago Jardín, Municipio Guacara del Edo. Carabobo-Venezuela. Se caracterizaron las muestras de suelo y compost en base a sus propiedades fisicoquímicas, se realizó la extracción y fraccionamiento de las sustancias húmicas mediante el método de separación por diferencia de reactividad en ácidos y bases, obteniendo el carbono extraíble (EXT), y de allí las fracciones de los ácidos húmicos (AH), ácidos fúlvicos (AF) y sustancias no húmicas (SNH). 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 IH, grado de humificación GH, razón de humificación RH y la relación de AH/AF). Finalmente se evaluó la fitotóxicidad de la enmienda mediante un bioensayo de crecimiento en plántulas de tomate certificadas "*Solanum Lycopersicum L.*", para luego determinarse los parámetros de germinación (altura de plántula, diámetro del tallo y materia seca). Del análisis fisicoquímico se obtuvo que el suelo es alcalino, no salino y con capacidad de intercambio catiónico media. La calidad del compost se vio afectada por una fuerte salinidad, fuera de los límites permitidos por las normas. Los valores de la relación R(AH/AF) indicaron que se trata de muestras de suelo con materia orgánica evolucionada. Se encontraron correlaciones significativas entre los parámetros de humificación y los parámetros de germinación, siendo el GH el que arrojó mejores resultados como indicador de la calidad de la materia orgánica del suelo. El GH de la enmienda influye significativamente en el crecimiento de las plántulas de tomate. El presente estudio promueve el empleo de la enmienda sin incubación previa, y su uso como sustrato ya que ahí presenta la mayor disponibilidad de nutrientes para la plántula.

**Palabras clave:** parámetros de humificación, parámetros de germinación, fitotóxicidad.



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



## EFFECT OF THE APPLICATION OF COMPOST ON PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES, HUMIFICATION PARAMETERS AND PHYTOTOXICITY IN AGRICULTURAL SOIL

**Autor: Br. Maria A. Soteldo H.**

**Tutor(es): Prof. Arnaldo Armado & Prof. Julissa Brizuela**

### ABSTRACT

Composting has been seen as an alternative management of organic waste, but it has been difficult to determine their quality as to the effect this has on their application as organic soil amendment. That's why on the present investigation it was posed to study the effect of compost on physicochemical properties, humification parameters and phytotoxicity of an agricultural soil located on the Lake Garden Sector, Guacara municipality Carabobo St.-Venezuela. The soil samples and compost were characterized determining some physicochemical properties, it has been made the extraction and the breaking-up of humic substances by means of the separation method by reactivity difference in acids and bases, obtaining extractable carbon (EXT), and from there the humic acids fractions (AH), fulvic acids (AF) and non humic substances (SNH). The organic carbon content quantification present in each of the fractions was made using the oxidation method via humid, with the finality of obtaining the humification parameters (humification index IH, humification degree GH, humification rate RH and relation of AH/AF). After that, the amendment phytotoxicity was evaluated by means of a growth bioassay on tomato seedling certified "*Solanum Lycopersicum L.*", to later determine the germination parameters (seedling high, stem diameter and dry material). From the physicochemical analysis was obtained that the soil is alkaline, a non-saline soil and with a medium cation exchange. The compost quality was affected by a strong salinity out of the allowed limits by the norms. The relation R(AH/AF) values indicates that we're talking about soil samples with an evolved organic matter. There were also found significant correlations between the humification and germination parameters, the GH showed better results as a quality indicator of the soil organic matter. The GH of the amendment influences significantly the growth of the tomatoes seedling. The study promotes the use of the amendment without prior incubation, and their use as a substrate because there has increased availability of nutrients for the seedling.

**Key words:** humification parameters, germination parameters, phytotoxicity.

## ÍNDICE GENERAL

|  | Págs.     |
|--|-----------|
| <b>INTRODUCCIÓN .....</b>  | <b>1</b>  |
| <b>CAPÍTULO I. EL PROBLEMA.....</b>  | <b>3</b>  |
| <b>1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>                               | <b>3</b>  |
| <b>1.2. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO .....</b>                                | <b>6</b>  |
| <b>1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>                            | <b>8</b>  |
| 1.3.1.    Objetivo General .....   | 8         |
| 1.3.2.    Objetivos Específicos.....                                       | 8         |
| <b>CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO .....</b>                                    | <b>9</b>  |
| <b>2.1. BASES TEÓRICAS .....</b>   | <b>9</b>  |
| 2.1.1.    El Compost. Definición.....                                      | 9         |
| 2.1.2.    El proceso de compostaje.....                                    | 9         |
| 2.1.3.    Fases del compostaje.....  | <b>10</b> |
| 2.1.3.1. Fase Mesófila .....   | 10        |
| 2.1.3.2. Fase Termófila o de Higienización .....                           | 11        |
| 2.1.3.3. Fase de Enfriamiento o Mesófila II.....                           | 11        |
| 2.1.3.4. Fase de Maduración .....  | 12        |
| 2.1.4.    Materia orgánica del suelo (MOS).....                            | <b>12</b> |
| 2.1.5.    Composición química de la materia orgánica del suelo.....        | <b>13</b> |
| 2.1.6.    Humus .....  | <b>15</b> |
| 2.1.7.    División de las sustancias húmicas según su solubilidad .....    | <b>16</b> |
| 2.1.8.    Parámetros de humificación.....                                  | <b>19</b> |
| 2.1.9.    Indicadores de calidad del suelo .....                           | <b>20</b> |
| 2.1.9.1. Indicadores físicos.....  | 21        |
| 2.1.9.2. Indicadores químicos .....  | 21        |
| 2.1.9.3. Indicadores biológicos .....                                      | 22        |
| 2.1.10. Fitotóxicidad.....   | <b>23</b> |
| 2.1.10.1. Bioensayos de germinación de semillas y crecimiento de plántulas | 23        |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>2.2. ANTECEDENTES .....</b>   | <b>24</b> |
| 2.2.1. Seguimiento del Proceso de Humificación en Compost Inoculado.....   | 24        |
| 2.2.2. Estudio de los parámetros de humificación en suelos contaminados con<br>residuos sólidos urbanos .....  | 24        |
| 2.2.3. Fraccionamiento químico de carbono orgánico y su relación con la<br>actividad microbiológica, biomasa microbiana y cantidad de ADN en suelos<br>cacaoteros venezolanos..... | 25        |
| 2.2.4. Caracterización del humus de suelos Del macizo de Ayllón.....   | 26        |
| 2.2.5. Biorecuperación de suelos salinos con el uso de materiales orgánicos ...  | 27        |
| <b>CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO.....</b>   | <b>29</b> |
| <b>3.1. Ubicación, Muestreo y Preparación de Muestras.....</b>   | <b>29</b> |
| 3.1.1. Ubicación y descripción del área de colecta del compost .....   | 29        |
| 3.1.3. Ubicación y descripción del terreno de suelo bajo estudio.....  | 30        |
| 3.1.4. Preparación de los sistemas suelo/compost .....   | 31        |
| <b>3.2. Determinación de las propiedades físicas y fisicoquímicas del compost y<br/>del suelo .....</b>  | <b>32</b> |
| 3.2.1. Textura.....  | 33        |
| 3.2.2. Retención de Humedad.....   | 33        |
| 3.2.3. Contenido de Humedad .....  | 34        |
| 3.2.4. Materia orgánica del suelo (MOS).....   | 35        |
| 3.2.5. pH y Conductividad Eléctrica.....   | 35        |
| 3.2.6. Carbono Orgánico Total (COT).....   | 35        |
| 3.2.7. Determinación de Nitrógeno.....   | 37        |
| 3.2.8. Relación C/N.....   | 39        |
| 3.2.9. Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC).....   | 39        |
| <b>3.3. Determinación de los parámetros de humificación .....</b>  | <b>43</b> |
| 3.3.1. Extracción y fraccionamiento de las sustancias húmicas .....  | 43        |
| 3.3.2. Determinación del carbono orgánico en las fracciones extraídas.....   | 47        |
| 3.3.3. Cálculo de los parámetros de humificación.....  | 48        |



|  |            |
|--|------------|
| 3.4. Ensayos de respuesta vegetal en plántulas de tomate ( <i>Solanum Lycopersicum L.</i> ) .....            | 49         |
| 3.5. Análisis estadístico de los resultados .....  | 51         |
| <b>CAPÍTULO IV. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....</b>  | <b>54</b>  |
| 4.1. Caracterización de las muestras de suelo y compost.....   | 54         |
| 4.2. Influencia del compost sobre las propiedades físicas y fisicoquímicas en los sistemas enmendados.....   | 60         |
| 4.3. Influencia en los parámetros de humificación obtenidos en el suelo, compost y sistemas enmendados ..... | 75         |
| 4.4. Evaluación de la fitotoxicidad en los sistemas enmendados .....   | 86         |
| 4.5. Correlación entre los parámetros de humificación y los parámetros biométricos de germinación.....       | 93         |
| <b>CAPÍTULO V.....</b>   | <b>96</b>  |
| 5.1. CONCLUSIONES.....   | 96         |
| 5.2. RECOMENDACIONES.....  | 96         |
| <b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>  | <b>98</b>  |
| <b>APÉNDICE.....</b>   | <b>103</b> |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  | <b>Págs.</b> |
|--|--------------|
| <b>Figura 1.</b> Fases de Maduración del compost.....  | 12           |
| <b>Figura 2.</b> Modelo de la estructura química de las sustancias húmicas.....  | 17           |
| <b>Figura 3.</b> Modelo de estructura del ácido fúlvico.....   | 18           |
| <b>Figura 4.</b> Modelo para el ácido húmico.....  | 18           |
| <b>Figura 5.</b> Estructura básica de la resina de Polivinilpirrolidona.....   | 19           |
| <b>Figura 6.</b> Ubicación del “Vivero Agroecológico Fernando Peñalver”.....   | 29           |
| <b>Figura 7.</b> Ubicación de la zona del muestreo del suelo.....  | 31           |
| <b>Figura 8.</b> Patrones de glucosa tratados mediante el método de Walkley-Black...   | 37           |
| <b>Figura 9.</b> Muestras en agitación con mezcla de NaOH/Na <sub>4</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub> 0.1 M.....                                       | 43           |
| <b>Figura 10.</b> Filtración por gravedad de las muestras tratadas con NaOH/Na <sub>4</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub><br>0,1M.....                   | 44           |
| <b>Figura 11.</b> Separación de ácidos húmicos en las muestras tratadas.....   | 44           |
| <b>Figura 12.</b> Separación de ácidos fúlvicos y sustancias no húmicas en las<br>muestras tratadas, por medio de una columna de PVP.....                | 45           |
| <b>Figura 13.</b> Esquema de metodología descrita por Ciavatta <i>et al.</i> (1991)<br>ligeramente modificado.....                                       | 46           |
| <b>Figura 14.</b> Alícuotas de cada una de las fracciones EXT, AH, AF, SNH previas<br>a la evaporación.....  | 47           |
| <b>Figura 15.</b> Determinación de carbono orgánico total en las fracciones EXT,<br>AH, AF, SNH presente en las muestras de suelo tratadas.....          | 47           |
| <b>Figura 16.</b> Montaje de las germinaciones para cada sistema evaluado.....   | 50           |
| <b>Figura 17.</b> Mediciones de los parámetros de germinación a las plántulas; a)<br>altura de la plántula, b) diámetro del tallo, c) materia seca. .... | 51           |
| <b>Figura 18.</b> Representación ternaria de los parámetros texturales.....  | 55           |
| <b>Figura 19.</b> Triángulo textural (Bouyoucos, 1936).....  | 56           |
| <b>Figura 20.</b> Diagrama de Pareto estandarizada para la variable respuesta pH.....  | 62           |

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 21.</b> Efectos principales para la variable respuesta pH.....   | 62 |
| <b>Figura 22.</b> Interacciones para la variable respuesta pH.....   | 63 |
| <b>Figura 23.</b> Efecto sobre el pH en los sistemas suelo/compost.....  | 64 |
| <b>Figura 24.</b> Diagrama de Pareto estandarizada para la variable respuesta CE.....  | 65 |
| <b>Figura 25.</b> Efectos principales para la variable respuesta CE.....   | 65 |
| <b>Figura 26.</b> Efecto sobre la CE en los sistemas suelo/compost.....  | 65 |
| <b>Figura 27.</b> Diagrama de Pareto estandarizada para la variable respuesta %<br>humedad.....  | 66 |
| <b>Figura 28.</b> Efectos principales para la variable respuesta % humedad.....  | 67 |
| <b>Figura 29.</b> Interacciones para el contenido de humedad.....  | 67 |
| <b>Figura 30.</b> Efecto sobre el contenido de humedad en los sistemas<br>suelo/compost.....   | 68 |
| <b>Figura 31.</b> Diagrama de Pareto estandarizada para la variable respuesta CIC....  | 69 |
| <b>Figura 32.</b> Efectos principales para la variable respuesta CIC.....  | 70 |
| <b>Figura 33.</b> Efecto sobre la CIC en los sistemas suelo/compost.....   | 70 |
| <b>Figura 34.</b> Diagrama de Pareto estandarizada para la variable respuesta MOS...   | 71 |
| <b>Figura 35.</b> Efectos principales para la variable respuesta MOS.....  | 71 |
| <b>Figura 36.</b> Efectos sobre la MOS en los sistemas suelo/compost.....  | 72 |
| <b>Figura 37.</b> Diagrama de Pareto estandarizada para la variable respuesta COT...   | 73 |
| <b>Figura 38.</b> Efectos principales para la variable respuesta COT.....  | 73 |
| <b>Figura 39.</b> Interacciones para el COT.....   | 74 |
| <b>Figura 40.</b> Efecto sobre el COT en los sistemas suelo/compost.....   | 74 |
| <b>Figura 41.</b> Variación del carbono orgánico extraíble en las muestras de suelo,<br>compost y sistemas enmendados.....                   | 76 |
| <b>Figura 42.</b> Variación del carbono orgánico en las fracciones extraídas en las<br>muestras de suelo, compost y sistemas enmendados..... | 77 |
| <b>Figura 43.</b> Diagrama de Pareto estandarizada para el parámetro IH.....   | 80 |
| <b>Figura 44.</b> Efectos principales para el parámetro IH.....  | 80 |
| <b>Figura 45.</b> Diagrama de Pareto estandarizada para el parámetro GH.....   | 82 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 46.</b> Interacciones para el parámetro GH.....                         | 82 |
| <b>Figura 47.</b> Diagrama de Pareto estandarizada para el parámetro RH.....      | 83 |
| <b>Figura 48.</b> Efectos principales para el parámetro RH.....                   | 84 |
| <b>Figura 49.</b> Diagrama de Pareto estandarizada para la relación R(AH/AF)..... | 85 |
| <b>Figura 50.</b> Efectos principales para la relación R(AH/AF).....              | 85 |
| <b>Figura 51.</b> Diagrama de Pareto estandarizada para el parámetro AP.....      | 87 |
| <b>Figura 52.</b> Efectos principales para el parámetro AP.....                   | 88 |
| <b>Figura 53.</b> Diagrama de Pareto estandarizada para el parámetro DT.....      | 89 |
| <b>Figura 54.</b> Efectos principales para el parámetro DT.....                   | 89 |
| <b>Figura 55.</b> Diagrama de Pareto estandarizada para el parámetro MS.....      | 90 |
| <b>Figura 56.</b> Efectos principales para el parámetro MS.....                   | 91 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|   | <b>Págs.</b> |
|---|--------------|
| <b>Tabla I.</b> Principales grupos de materiales orgánicos del suelo (Jaramillo, 2002).   | 14           |
| <b>Tabla II.</b> Resumen metodológico de las determinaciones de las propiedades físicas y fisicoquímicas.....                       | 32           |
| <b>Tabla III.</b> Elaboración de las soluciones patrones para la curva de calibración de Glucosa.....                               | 37           |
| <b>Tabla IV.</b> Diseño Factorial Multinivel.....   | 52           |
| <b>Tabla V.</b> Diseño Factorial $3^2$ .....  | 52           |
| <b>Tabla VI.</b> Caracterización de las propiedades físicas y fisicoquímicas en las muestras del suelo y compost.....               | 55           |
| <b>Tabla VII.</b> Caracterización fisicoquímica de las muestras de suelo, compost y sistemas suelo/compost estudiadas.....          | 61           |
| <b>Tabla VIII.</b> Carbono orgánico (CO) en las fracciones extraídas para el suelo, compost y los sistemas enmendados.....          | 76           |
| <b>Tabla IX.</b> Parámetros de humificación determinados para el suelo, compost y los sistemas enmendados.....                      | 79           |
| <b>Tabla X.</b> Parámetros biométricos determinados para el suelo, compost y los sistemas enmendados.....                           | 87           |
| <b>Tabla XI.</b> Porcentaje de germinación para el suelo, compost y los sistemas enmendados a diferentes tiempos de incubación..... | 92           |
| <b>Tabla XII.</b> Correlación entre los parámetros húmicos y de germinación en los sistemas enmendados.....                         | 94           |

## APÉNDICE

|  | <b>Págs.</b> |
|--|--------------|
| <b>A.1.</b> Datos de la Curva de Calibración de Glucosa.....             | 103          |
| <b>A.1.a.</b> Curva de calibración de Glucosa.....                       | 103          |
| <b>A.2.</b> Análisis de Varianza para pH.....                            | 104          |
| <b>A.3.</b> Análisis de Varianza para CE.....                            | 104          |
| <b>A.4.</b> Análisis de Varianza para el Contenido de Humedad.....       | 105          |
| <b>A.5.</b> Análisis de Varianza para la CIC.....                        | 105          |
| <b>A.6.</b> Análisis de Varianza para la MOS.....                        | 106          |
| <b>A.7.</b> Análisis de Varianza para el COT.....                        | 106          |
| <b>A.8.</b> Análisis de Varianza para el EXT.....                        | 107          |
| <b>A.9.</b> Análisis de Varianza para la fracción de AH.....             | 107          |
| <b>A.10.</b> Análisis de Varianza para la fracción de AF.....            | 108          |
| <b>A.11.</b> Análisis de Varianza para la fracción de SNH.....           | 108          |
| <b>A.12.</b> Análisis de Varianza para el IH.....                        | 109          |
| <b>A.13.</b> Análisis de Varianza para el GH.....                        | 109          |
| <b>A.14.</b> Análisis de Varianza para la RH.....                        | 110          |
| <b>A.15.</b> Análisis de Varianza para la R(AH/AF).....                  | 110          |
| <b>A.16.</b> Análisis de Varianza para la AP.....                        | 111          |
| <b>A.17.</b> Análisis de Varianza para el DT.....                        | 111          |
| <b>A.18.</b> Análisis de Varianza para la MS.....                        | 112          |
| <b>A.19.</b> Germinación de las plántulas.....                           | 112          |
| <b>A.20.</b> Análisis de Varianza para el Porcentaje de Germinación..... | 113          |
| <b>A.21.</b> Distribución normal de los parámetros bajo estudio.....     | 114          |

## INTRODUCCIÓN

Uno de los grandes problemas ambientales que el hombre ha tenido que afrontar y solucionar es la gestión de los diferentes residuos que genera. En los parques municipales se consigue una alta producción de residuos orgánicos, por parte de los mantenimientos necesarios, entre estos se puede nombrar los residuos con destinos compostables. Los residuos compostables corresponden a la fracción orgánica de síntesis natural contenida en los siguientes residuos: agroindustriales, agrícolas (incluye forestales, cultivos y ganaderos), animales, pesqueros, de ferias libres, de la manutención de parques y jardines y domiciliarios verdes y lodos del tratamiento de aguas (Comisión Nacional del Medio Ambiente, 2000).

La principal aplicación de estos residuos es en suelos agrícolas, lo cual implica soluciones para problemas ambientales: i) la reducción de una fuente potencial de contaminación y ii) el aprovechamiento de un recurso de bajo coste que permita mejorar las características físicas, químicas y biológicas del suelo, activando así su productividad. El uso agrícola de estos residuos orgánicos, ya sea de forma directa o transformados en productos con alto contenido de materia orgánica estabilizada (compost), ha conducido a la valoración de estos materiales, fundamentalmente en lo relativo a su capacidad de mejorar la calidad y la cantidad de la materia orgánica (valor como enmienda) y el contenido de nutrientes (valor fertilizante) de suelos agrícolas agotados (Cuevas & Walter, 2004).

En la presente investigación se estudió el efecto que tiene la aplicación de un compost, creado a partir de restos de poda y jardinería (hojas secas, ramas, estiércol de caballo, entre otros), sobre un suelo del tipo agrícola ubicado en el Sector Lago Jardín, Municipio Guacara (cercano al Lago de Valencia), para luego evaluar el

cambio en las propiedades físicas, fisicoquímicas y fitotóxicas, así como también en la determinación de los parámetros de humificación, para finalmente establecer su empleo como un mejorador de la calidad de este tipo de suelos.



# CAPÍTULO I

## EL PROBLEMA

### 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La generación de residuos sólidos es un problema actual, y la cantidad de residuos generados es directamente proporcional al tamaño de la población humana. La rápida urbanización y la industrialización han dado lugar a la explotación descontrolada de los diferentes tipos de recursos naturales y a la generación de gran cantidad de residuos sólidos complejos en las últimas décadas (Singh *et al.*, 2011). La necesidad de tratar y disponer de basuras orgánicas ha hecho la producción del compost y su aplicación en la agricultura una solución interesante (Zmora-Nahum *et al.*, 2007).

El principal empleo del compost es en áreas agrícolas, municipales y domésticas, para el incremento y/o restauración del contenido de materia orgánica en suelos. La materia orgánica en los suelos es uno de los factores más importantes responsables de la fertilidad en suelos, producción de cultivos y protección contra la contaminación de la tierra, la degradación, la erosión y la desertificación. De hecho, el compostaje de residuos orgánicos, bioproductos (como lodos de aguas residuales municipales y residuos sólidos urbanos), residuos del procesamiento de desechos de la industria de alimentos y madera, los residuos de cultivos agrícolas y residuos animales; se ha convertido en una práctica muy popular y eficaz para la producción de enmiendas orgánicas (Nova Scotia, 2008).

El hecho de que el compost contenga una gran cantidad de sustancias distintas (muchas de ellas generadas en el transcurso del proceso biológico), hace que sea difícil analizar y comparar los distintos tipos de compost obtenidos. Estos difieren

mucho en su composición según los materiales que se compostan y las condiciones en que se realiza el proceso. Es necesario simplificar los análisis a realizar y los parámetros a comparar, pero encontrando, paralelamente, un buen sistema de interpretación de las diferencias (Soliva & López, 2004). Es decir, no existe un único método universal para su aplicación a cualquier tipo de compost y por tanto es imprescindible la aplicación combinada de determinados parámetros indicadores de la actividad microbiana durante el compostaje y de la “humificación” del material para evitar los serios riesgos que conlleva la aplicación a los suelos de cultivo de compost insuficientemente maduros (Jiménez, 2014).

En la actualidad, el país presenta un creciente desarrollo de la actividad del compostaje como alternativa a la gestión de residuos orgánicos. Sin embargo, no existe un criterio para definir la calidad del compost (Comisión Nacional del Medio Ambiente, 2000). Los valores de calidad desde el punto de vista agronómico están infravalorados. Frente a esta actitud, está la dificultad en la comercialización de compost, ya que el material en general, se considera más como una pérdida, es decir, difíciles de eliminar y no como un producto de calidad comercialmente rentable (Tittarelli *et al.*, 2007). El mercado del compost para la recuperación de suelos es substancialmente diferente que el mercado para uso agrícola debido a que usualmente la primera es responsabilidad del sector público, realizada por agencias gubernamentales (Eggerth *et al.*, 2007).

En las instalaciones de los parques municipales (Parque Fernando Peñalver, Valencia-Edo. Carabobo), el mantenimiento de áreas verdes origina residuos del tipo vegetal (cortes de grama, hojas secas, mantillo de bosque) y residuos orgánicos (estiércol de caballo), los cuales se gestionan mediante la elaboración de compost de forma aislada a las instalaciones del parque. El empleo de dicho compost está regido principalmente para el abono en jornadas de siembra en instituciones de la comunidad, cuencas hidrográficas, así como también como sustrato para el llenado de

bolsas en el vivero y como insumo en el área del mismo parque. Se quiere establecer una alternativa de uso del compost con fines agrícolas, que fomenten la actividad del suelo de manera sencilla, práctica y así considerar el compost como una alternativa a largo plazo, más que como una pérdida.

El suelo seleccionado para dicho fin, es considerado del tipo agrícola, ya que en él se realizan siembras escalonadas para fines de consumo humano, el cual estando en una zona acuífera pudiera presentar características que fomenten o reduzcan el crecimiento de las plantas adecuadamente, por esto se decidió realizar una caracterización más detallada en cuanto a sus propiedades para el establecimiento de este tipo de suelo como uso agrícola efectivo.

A su vez, se planteó realizar la determinación de algunas propiedades físicas y fisicoquímicas, como también realizar una extracción de las sustancias húmicas, y no húmicas del suelo, y así obtener los parámetros de humificación a fin de comparar las posibles variaciones en dichos resultados sobre el suelo agrícola. Posteriormente, al conocer el comportamiento del suelo enmendado mediante un ensayo de respuesta vegetal, se podrá establecer la factibilidad de su empleo como potenciador en este tipo de suelos, con el propósito de evaluar su productividad en el mismo.

## 1.2. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

La aplicación de materiales orgánicos al suelo es una práctica habitual en sistemas de agricultura sostenible. Una de las formas más usadas para tratar suelos impactados es la adición de enmiendas orgánicas, que tienden a inmovilizar los contaminantes y hacerlos menos disponibles; dichas enmiendas, juegan un papel importante en la agricultura por su influencia significativa en la calidad y productividad de los suelos, y por fomentar diversos procesos bioquímicos en las plantas (como la fotosíntesis), incrementando el contenido de clorofila, absorción de nutrientes, crecimiento de organismos en el suelo, desarrollo de raíces y rendimiento de muchas plantas (Apanga & Tshwenyane, 2003).

Los materiales compostados constituyen un aporte importante de materia orgánica, que recompone las propiedades del suelo tales como estructura, el estado nutricional del mismo y muchas otras características. Sin embargo, la aplicación al suelo de un compost inmaduro puede causar problemas tales como inmovilización de N por parte de los microorganismos, condiciones anaeróbicas, elevación de la temperatura del medio y la acumulación de sustancias fitotóxicas que pueden impedir la germinación de semillas o inhibir el crecimiento radicular (Arrigo *et al.*, 2005). Estos inconvenientes hacen necesario definir, criterios o parámetros que permitan regular la calidad, y cuantificar el efecto producido por el agregado al suelo como enmienda orgánica de un producto parcialmente compostado, y de esta forma facilitar su comercialización y utilización (Comisión Nacional del Medio Ambiente, 2000).

La evaluación de la madurez del compost ha sido reconocida como el más importante problema concerniente a su utilización agronómica, ya que la aplicación a los suelos de cultivo de un compost inmaduro es una de las causas más frecuentes de

los fracasos observados en el rendimiento de los cultivos. Pues bien, la determinación correcta del grado de madurez de la materia orgánica, constituye en la actualidad un problema pendiente en relación al control del proceso de compostaje, para la obtención de compost de alta calidad (Jiménez, 2014). Es por ello que la importancia del estudio radica en caracterizar y conocer los efectos del compost sobre diferentes características de suelos del tipo agrícola.

Se proponen una serie de caracterizaciones que determinen la calidad del compost y el efecto que tiene sobre propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, así como también la evaluación de diferentes parámetros de humificación que sirvan de indicadores de las condiciones de maduración del compost, para su utilización agronómica eficaz en el mejoramiento de suelos agrícolas. Además, se espera que la presente investigación sirva como punto de partida a otros proyectos para establecer la calidad y la influencia directa de esta enmienda, en comparación de otras, como mejoradoras de este tipo de suelos.

### **1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.3.1. Objetivo General**

Evaluar el efecto de la incorporación de un compost producido a partir de restos de poda y jardinería sobre propiedades fisicoquímicas, parámetros de humificación y fitotoxicidad en un suelo agrícola.

#### **1.3.2. Objetivos Específicos**

- Determinar la calidad del compost bajo estudio según el cumplimiento de las normativas ambientales internacionales.
- Evaluar la influencia de la aplicación del compost sobre propiedades fisicoquímicas y parámetros de humificación del suelo enmendado.
- Evaluar la fitotoxicidad en el suelo tratado con compost.
- Estudiar la relación entre los parámetros de humificación y la fitotoxicidad de los sistemas enmendados.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. BASES TEÓRICAS**

##### **2.1.1. El Compost. Definición**

El término compost deriva del latín “*compositus*” y su significado sería «poner junto»; por lo tanto, es la unión de restos orgánicos que sufren una transformación a través de la oxidación biológica secuencial que convierte materia orgánica heterogénea en un producto homogéneo (Avendaño, 2003). Para hacer compost mezclamos varios materiales que permiten iniciar un proceso de descomposición de la materia orgánica, que ocurre bajo condiciones controladas de humedad, temperatura y aireación, realizada por microorganismos (bacterias, hongos y actinomicetos), que liberan energía por la actividad metabólica y, gracias a una serie de reacciones bioquímicas, agua, anhídrido carbónico y sales minerales dará lugar a un material más o menos estable parecido al humus del suelo y que es un elemento clave para la fertilidad de la tierra (Fundación Terra, 2003).

##### **2.1.2. El proceso de compostaje**

El compostaje se define como un sistema de tratamiento/estabilización de los residuos orgánicos basado en una actividad microbiológica compleja, realizada en condiciones controladas (presencia asegurada de oxígeno—aerobiosis— y con alguna fase de alta temperatura) en las que se obtiene un producto utilizable como abono, enmienda o sustrato. El compostero tradicional por excelencia ha sido el estercolero: una pila

controlada en la que se mezclaban los excrementos de la granja con los residuos vegetales de los cultivos y con los residuos orgánicos de los alimentos. El compost o producto resultante del proceso descrito anteriormente es difícil de definir, ya que su composición depende mucho del material o materiales que se hayan tratado, aunque sí debe cumplir que: i) una parte importante de su materia orgánica esté estabilizada, es decir, sea de lenta biodegradación; ii) esté higienizado, es decir, sin patógenos animales o vegetales y sin semillas de malas hierbas; iii) tenga un nivel mínimo de impurezas y contaminantes; iv) presente un aspecto y olor agradables, un buen nivel de nutrientes para las plantas; v) no genere problemas ni durante su almacenamiento ni durante su aplicación (Fundación Terra, 2003).

### **2.1.3. Fases del compostaje**

Es posible interpretar el compostaje como el sumatorio de procesos metabólicos complejos realizados por parte de diferentes microorganismos, que en presencia de oxígeno, aprovechan el nitrógeno (N) y el carbono (C) presentes para producir su propia biomasa. En este proceso, adicionalmente, los microorganismos generan calor y un sustrato sólido, con menos C y N, pero más estable, que es llamado compost. En la Figura 1, se muestra la división de las diferentes fases del compostaje según la temperatura (Román *et al.*, 2013).

#### **2.1.3.1. Fase Mesófila**

El material de partida comienza el proceso de compostaje a temperatura ambiente, y en pocos días (e incluso en horas), la temperatura aumenta hasta los 45°C. Este aumento de temperatura es debido a la actividad microbiana, ya que en esta fase los microorganismos utilizan las fuentes sencillas de C y N, generando calor. La descomposición de compuestos solubles, como azúcares, produce ácidos orgánicos y,



por tanto, el pH puede bajar (hasta cerca de 4,0 o 4,5). Esta fase dura pocos días (entre dos y ocho días) (Román *et al.*, 2013).

### **2.1.3.2. Fase Termófila o de Higienización**

Cuando el material alcanza temperaturas mayores que los 45°C, los microorganismos que se desarrollan a temperaturas medias (microorganismos mesófilos), son reemplazados por aquellos que crecen a mayores temperaturas, en su mayoría bacterias termófilas, que actúan facilitando la degradación de fuentes más complejas de C, como la celulosa y la lignina. Estos microorganismos actúan transformando el nitrógeno en amoníaco por lo que el pH del medio sube. En especial, a partir de los 60°C aparecen esporas y actino bacterias, que son las encargadas de descomponer las ceras, hemicelulosas y otros compuestos de C complejos. Esta fase puede durar desde unos días hasta meses, según el material de partida, las condiciones climáticas y del lugar, y otros factores. Esta fase también recibe el nombre de fase de higienización ya que el calor generado destruye bacterias y contaminantes de origen fecal, como *Escherichia coli* y *Salmonella spp.* Igualmente, esta fase es importante pues las temperaturas por encima de los 55°C eliminan los quistes y huevos de helminto, hongos fitopatógenos y semillas de malezas que pueden encontrarse en el material de partida, dando lugar a un producto higienizado (Román *et al.*, 2013).

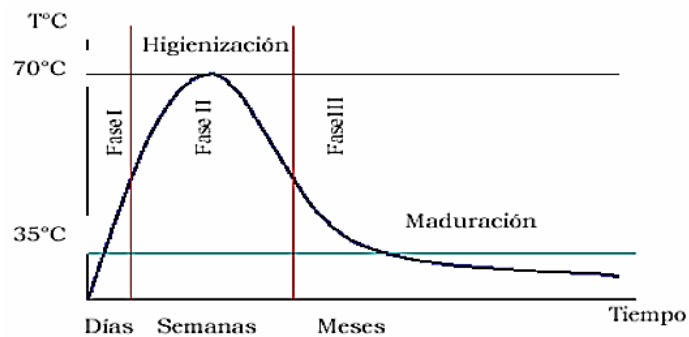
### **2.1.3.3. Fase de Enfriamiento o Mesófila II**

Agotadas las fuentes de carbono, y en especial el nitrógeno en el material en compostaje, la temperatura desciende nuevamente hasta los 40-45°C. Durante esta fase, continúa la degradación de polímeros como la celulosa, y aparecen algunos hongos visibles a simple vista. Al bajar de 40°C, los organismos mesófilos reinician su actividad y el pH del medio desciende levemente, aunque en general el pH se

mantiene ligeramente alcalino. Esta fase de enfriamiento requiere de varias semanas y puede confundirse con la fase de maduración (Román *et al.*, 2013).

#### 2.1.3.4. Fase de Maduración

Es un período que demora meses a temperatura ambiente, durante los cuales se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización de compuestos carbonados, para la formación de ácidos húmicos y fúlvicos (Román *et al.*, 2013).



**Figura 1.** Fases de Maduración del compost (Luciano, 2007).

#### 2.1.4. Materia orgánica del suelo (MOS)

La materia orgánica del suelo se define como todo material orgánico biológico de cualquier naturaleza que se encuentre en él, ya sea vivo, muerto o en un estado de descomposición; es la acumulación de todos los residuos vegetales y animales, así como de las células microbiales depositadas en el suelo y que se encuentran en proceso de descomposición (Blanco, 2013). Según el Laboratorio de estudio de suelos (SSL, 1996), la materia orgánica del suelo, se precisa como la fracción orgánica que posee el suelo, excluyendo los residuos vegetales y animales sin descomponer.

La descomposición de restos orgánicos y residuos metabólicos da origen a lo que se denomina humus. El humus al descomponerse, da origen a una serie de productos coloidales, que en unión con los minerales arcillosos, forman los nutrientes de las plantas. Estos coloides son de carga negativa, lo que les permite absorber  $H^+$  y cationes metálicos ( $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$ ,  $K^+$  y  $Na^+$ ), e intercambiarlos en todo momento de forma reversible entre las plantas y el suelo. La materia orgánica del suelo es importante como fuente de la energía requerida para la actividad y el metabolismo de los microorganismos del suelo y como sustrato para el suministro de algunos nutrientes esenciales para las plantas (Blanco, 2013). Es por ello que la materia orgánica incorporada, ya sea en forma de abono o compost, es importante para el acondicionamiento de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

#### **2.1.5. Composición química de la materia orgánica del suelo**

Una fracción pequeña de MOS está constituida por carbohidratos, aminoácidos, ácidos alifáticos, proteínas, grasas, entre otros, y en su mayor parte están formadas por las llamadas sustancias húmicas, que son una serie de compuestos de alto peso molecular (Tabla I). Estas sustancias húmicas han sido divididas en grupos de acuerdo a su solubilidad en soluciones ácidas y básicas concentradas: ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas. Los ácidos húmicos son moléculas más grandes y complejas que los ácidos fúlvicos, y además presentan contenidos más altos de N, pero más bajos de grupos funcionales (Meléndez, 2003).

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  $NH_3$ ,  $NH^+4$ ,  $NO^-3$ ,  $SO4^-2$ ,  $PO4^-3$ ,  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$ ,  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $H_2O$  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.
- **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 en complejidad.

**Tabla I.** Principales grupos de materiales orgánicos del suelo.

| <b>Materia Orgánica Fresca (MF) [Órganos]</b> | <b>Materia Orgánica No Húmica (MNH) [Compuestos Químicos Simples]</b> | <b>Materia Orgánica Húmica (MH) [Coloides Orgánicos]</b> |
|---|---|--|
| Hojas   | Celulosa  | Ácidos Fúlvicos  |
| Tallos  | Hemicelulosa  | Ácidos Himatometálico                                    |
| Raíces  | Lignina   | Ácidos Húmicos   |
| Flores  | Azúcares, aminoácidos y ácidos alifáticos                             | Huminas  |
| Frutos  | Grasas, aceites, ceras, resinas. Proteínas.                           | -----  |

**Fuente:** (Jaramillo, 2002).

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

mientras que en suelos con relación C/N alta, se favorece al proceso de humificación (Jaramillo, 2002).

### **2.1.6. Humus**

Se entiende como humus o materia orgánica humificada a aquella fracción de la MOS que no es un compuesto orgánico con composición definida (no es un aminoácido, ni un ácido orgánico, ni tampoco biomasa microbiana viva), de color oscuro y bioestable; es decir, colorea de negro al suelo y permanece en él durante mucho tiempo, de siglos a milenios (Gallardo, 2001). El humus es producto de la materia de residuos orgánicos que se depositan sobre el suelo (maleza, restos, excrementos o restos de animales). Sabemos que estos residuos sufren dos procesos paralelos: el de mineralización (primaria), con formación de compuestos inorgánicos (agua, CO<sub>2</sub>, nitrato, fosfato, sulfato, etc.) y el de humificación, mediante el cual aparecen las sustancias negras y bioestables que denominamos humus. Un humus adecuado es imprescindible para alcanzar la calidad del suelo en lo concerniente a sus propiedades (Ibáñez, 2006).

#### **Físicas**

- El color oscuro favorece la absorción de los rayos solares calentando el suelo y promoviendo la germinación de las semillas (inmediatamente después de comenzar el período vegetativo) (Ibáñez, 2006).
- Facilita el desarrollo de una buena estructura, que posibilite la respiración adecuada de las plantas y de los microorganismos, a la par que satisface las necesidades hídricas del ecosistema. Del mismo modo, una buena estructura favorece la resiliencia del suelo frente a los procesos de erosión y

compactación, impidiendo el sellado por el impacto directo de caídas de lluvia (Ibáñez, 2006).

### **Químicas**

- Poder tampón o amortiguador frente a los contaminantes (hasta un cierto umbral). La MOS atesora una gran capacidad de absorber y retener pesticidas (que de este modo no pasan a las aguas freáticas y corrientes) (Ibáñez, 2006).
- Retención y disponibilidad adecuada de los nutrientes para que sean asimilados por la vegetación (favorecida por la rápida mineralización de los restos vegetales y la formación de agregados estables) (Ibáñez, 2006).

### **Biológicas**

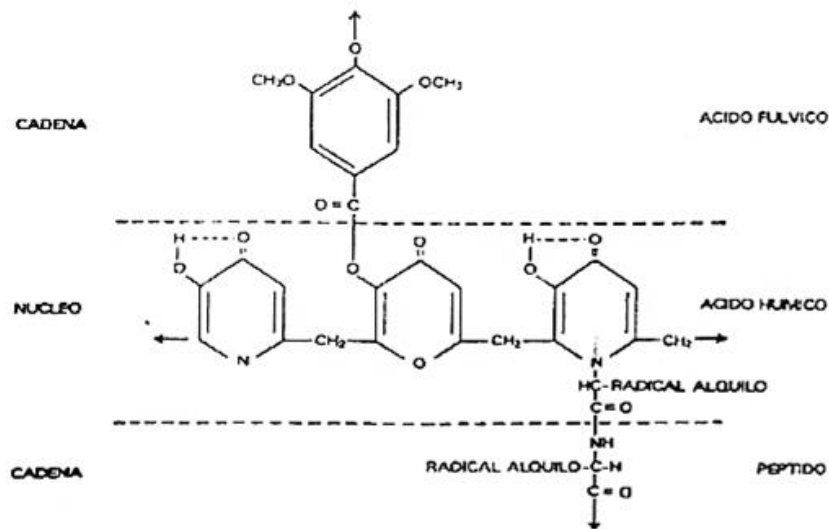
- Fomenta la actividad biológica del suelo (Ibáñez, 2006).
- Favorece la liberación de nutrientes para la absorción vegetal, entre otros (Ibáñez, 2006).

#### **2.1.7. División de las sustancias húmicas según su solubilidad**

Las sustancias húmicas comprenden alrededor del 60 a 80% de la materia orgánica del suelo. Están constituidas por moléculas enormes con estructura y composición variables (Figura 2). Las sustancias húmicas están caracterizadas por estructuras aromáticas, cíclicas que incluyen polifenoles (numerosos compuestos fenólicos agrupados) y poliquinononas similares que son aún más complejas. Generalmente, las sustancias húmicas son sustancias de color oscuro, amorfas, con pesos moleculares que varían de 2 000 a 300 000 g/mol. Debido a su complejidad, son los materiales orgánicos más resistentes al ataque microbiano (Corbella & Ullivarri, 2015). Las

sustancias húmicas (Figura 2) han sido históricamente clasificadas en tres agrupamientos químicos basados en solubilidad:

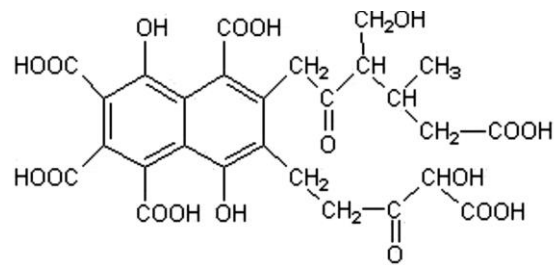
- **Ácidos fúlvicos:** los de peso molecular más bajo y de color más claro, solubles tanto en ácido como en álcali y más susceptibles al ataque microbiano (Figura 3).
- **Ácidos húmicos:** de peso molecular y colores medianos, solubles en álcali pero insolubles en ácido y de resistencia intermedia a la degradación (Figura 4).
- **Huminas:** las de peso molecular más alto, de color más oscuro, insolubles tanto en ácido como en álcali y las más resistentes al ataque microbiano.



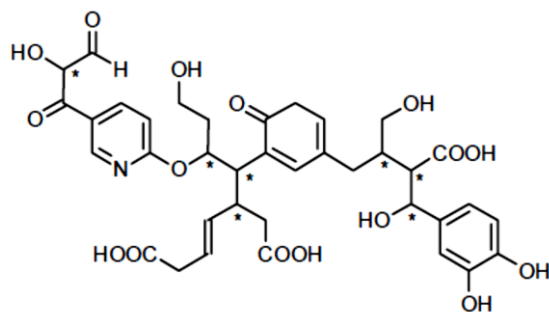
**Figura 2.** Modelo de la estructura química de las sustancias húmicas (Gallardo, 2001).

Se han empleado diferentes procedimientos para el fraccionamiento de las sustancias húmicas contenidas en la materia orgánica soluble, siendo el método más utilizado el que se basa en la variación del pH, dada la distinta solubilidad de tales sustancias

según que el medio sea ácido o alcalino. De este modo, disminuyendo el valor de pH del extracto, generalmente obtenido en medio alcalino, hasta valores próximos a 2, se consigue la separación convencional en dos fracciones: AH (ácidos húmicos) y AF (ácidos fúlvicos) (Muñoz, 2007).



**Figura 3.** Modelo de estructura del ácido fúlvico (Corbella & Ullivarri, 2015).

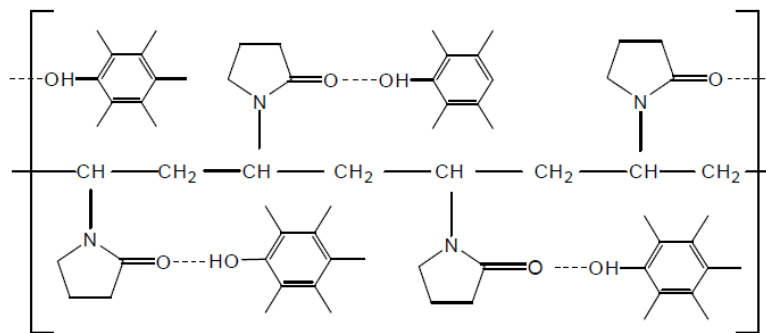


**Figura 4.** Modelo para el ácido húmico (Tinoco, 2000).

Sequi *et al.*, (1986) introdujeron una modificación en la metodología convencional utilizada para fraccionar los materiales húmicos, cuyo objetivo era distinguir dos fracciones dentro de FF: la no humificada (NH) y los verdaderos ácidos fúlvicos (AF). Tal fraccionamiento se efectúa mediante el uso de un gel de resina de PVP empacado en columna, a través del cual se hace pasar la fracción FF, de manera que la componente NH atraviesa la columna, mientras que los AF quedan retenidos debido a sus características fenólicas.



Andersen & Sowers, (1968) mostraron cómo la resina de PVP forma puentes de hidrógeno principalmente con grupos fenólicos, hidroxilo y carboxilo (Figura 5) y, posteriormente, otros investigadores (Lowe, 1975 y Watanabe & Kuwatsuka, 1992) comprobaron que tras hacer pasar la fracción FF a través de esta resina, la componente retenida o adsorbida (considerada como AF) está compuesta por compuestos polifenólicos y por sustancias caracterizadas por contener un gran número de anillos aromáticos y grupos carboxilo, mientras que la fracción no adsorbida (NH) está constituida principalmente por carbohidratos, péptidos, amino azúcares, aminoácidos y otros compuestos de naturaleza no húmica.



**Figura 5.** Estructura básica de la resina de Polivinilpirrolidona (Muñoz, 2007).

### 2.1.8. Parámetros de humificación

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). Los parámetros de humificación más importantes a determinar son: el índice de humificación, el grado de humificación, la razón de humificación, y la relación entre

los ácidos húmicos y fúlvicos (CAH/CAF), las cuales se definen con más detalle a continuación (Sequi *et al.*, 1986).

### **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 (Sequi *et al.*, 1986).

### **Grado de humificación**

Refleja el porcentaje de material humificado con respecto al carbono extraíble. Valores mayor del 60% reflejan materiales bien humificados (Sequi *et al.*, 1986).

### **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 (Sequi *et al.*, 1986).

### **Relación CAH/CAF**

Determina la evolución de los suelos. Valores mayores a la unidad indican suelos más evolucionados, es decir, que poseen mayor formación de moléculas complejas a partir de las más simples (Sequi *et al.*, 1986).

## **2.1.9. Indicadores de calidad del suelo**

Entre los indicadores de la calidad del suelo podemos presenciar propiedades tanto físicas, químicas como biológicas, así como también todo aquel estado de transformación que ocurra en él. Los parámetros o factores más destacados que se

tienen en cuenta, suelen ser: i) Contenido en materia orgánica, ii) Relación carbono-nitrógeno, iii) pH, iv) Conductividad eléctrica (indicador de salinidad), y v) Contenido en metales pesados (León M., 2013).

#### **2.1.9.1. Indicadores físicos**

Las propiedades físicas que pueden ser utilizadas como indicadores de la calidad del suelo son aquellas que reflejan la manera en que este recurso acepta, retiene y transmite agua a las plantas. A su vez, estas propiedades consiguen indicarnos las limitaciones que se pueden encontrar en el crecimiento de las raíces, la emergencia de las plántulas, la infiltración o el movimiento del agua dentro del perfil y que además estén relacionadas con el arreglo de las partículas y los poros (León M., 2013). Entre los indicadores físicos que se determinaran en la presente investigación estarán el color, la textura, y la humedad.

#### **2.1.9.2. Indicadores químicos**

El pH es una de las propiedades más importantes en los suelos; de él depende la disponibilidad y la presencia de nutrientes para las plantas y su facilidad para tomarlos (León, 2013). El suelo puede ser ácido, neutro o alcalino; se interpreta y califica así:

|                      |         |
|----------------------|---------|
| Extremadamente ácido | < 4,5   |
| Acido                | 4,5-6,5 |
| Casi neutro          | 6,6-7,3 |
| Alcalino             | 7,3-9,0 |
| Fuertemente alcalino | > 9,0   |

La capacidad de intercambio catiónico, es definida como la “medida de la cantidad de cargas negativas o posiciones intercambiables que pueden ser ocupadas por los cationes en la solución del suelo” (León, 2013). De esta manera nos permite conocer la capacidad de retención que tiene el suelo de cationes como  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$ . Esta propiedad está estrechamente relacionada con la fertilidad en los suelos, por lo que un suelo con mayor capacidad de intercambio catiónico se considera más fértil (León, 2013).

La conductividad eléctrica viene reflejada por la concentración de sales en el suelo, y puede causar problemas a los desarrollos de cultivos, ya que afectan a las propiedades fisicoquímicas del suelo (Fernández, 2012). Por otra parte, en cuanto a los metales pesados en altas concentraciones, llegan al suelo mediante adición o accidente. Son normales y esenciales para la vida a niveles reducidos, pero entrañan riesgo para los organismos a niveles elevados, ya que provocan problemas de toxicidad. Su principal inconveniente radica en su bioacumulación (se acumulan en los tejidos de los organismos) y biomagnificación (no pueden ser eliminados por el organismo, y pasan al siguiente escalón de la cadena trófica), pudiendo afectar de manera muy negativa a los seres vivos a lo largo de la pirámide alimenticia, y muy especialmente, a los niveles finales de la misma (Fernández, 2012).

### **2.1.9.3. Indicadores biológicos**

Los indicadores biológicos integran gran cantidad de factores que afectan la calidad del suelo, como la abundancia de micro y macro organismos, y subproductos incluidos bacterias, hongos, nematodos, lombrices, anélidos y artrópodos. Además, se incluyen funciones como la tasa de respiración, las tasas de descomposición de los residuos vegetales, N y C de la biomasa microbiana (Karlen, 1997).

### **2.1.10. Fitotóxicidad**

La fitotóxicidad está directamente vinculada al efecto que tiene algún compuesto o elemento de origen químico al entorno del proceso de cultivo en plantas. En un material que no haya terminado el proceso de compostaje correctamente, el nitrógeno está más en forma de amonio en lugar de nitrato. El amonio, en ciertas condiciones de calor y humedad, se transforma en amoníaco, creando un medio tóxico para el crecimiento de la planta y dando lugar a malos olores. Igualmente, un material sin terminar de compostar contiene compuestos químicos inestables, como ácidos orgánicos, que resultan tóxicos para las semillas y plantas (Román, 2013).

#### **2.1.10.1. Bioensayos de germinación de semillas y crecimiento de plántulas**

En los bioensayos de toxicidad con semillas se evalúan los efectos adversos de los contaminantes en el proceso de germinación y en el desarrollo de las plántulas durante los primeros días de crecimiento. Como respuesta, se determina la inhibición en la germinación y en la elongación de la radícula y del hipocotilo. Es importante destacar que durante la germinación y los primeros días de desarrollo ocurren numerosos procesos fisiológicos en los que la presencia de un compuesto tóxico puede interferir y alterar la supervivencia y el desarrollo normal de las plántulas. La división celular de los ápices radiculares puede afectarse, retardando el proceso de mitosis o alterando el proceso de alargamiento radicular, por lo que la fitotóxicidad de un compuesto puede ser determinada a través de la medición de dichas respuestas (Ramírez & Mendoza, 2008). Con este bioensayo pueden medirse puntos finales como mortalidad, germinación, crecimiento o cualquier característica fisiológica relevante.

## **2.2. ANTECEDENTES**

### **2.2.1. Seguimiento del Proceso de Humificación en Compost Inoculado**

En esta investigación se llevó a cabo un monitoreo de la actividad enzimática proteolítica y celulolítica cuantitativamente, en respuesta a diferentes cantidades de compost/suelo en el transcurso de 90 días y relacionado con la materia orgánica, con el fin de realizar el seguimiento como medida indirecta del proceso de humificación. Las actividades se relacionaron con el porcentaje de materia orgánica medido por el método de Walkley y Black y se observó que si existían diferencias significativas entre los diferentes tiempos de muestreo. La presente investigación sirve de herramienta analítica para visualizar el efecto del seguimiento del proceso de humificación en una muestra similar al del estudio como lo es el compost inoculado (Perdomo, 2007).

### **2.2.2. Estudio de los parámetros de humificación en suelos contaminados con residuos sólidos urbanos**

En esta investigación se estudió la materia orgánica y los parámetros de humificación en muestras de suelo contaminadas con residuos sólidos urbanos en el vertedero clausurado “El Ereigüe” en el Municipio San Joaquín del Edo. Carabobo. Realizaron una caracterización de los suelos, en donde determinaron las propiedades físicas y químicas, además, obtuvieron el carbono orgánico total, empleando el método de oxidación vía húmeda, para extraer las fracciones de los ácidos húmicos (CAH), ácidos fúlvicos (CAF) y sustancias no húmicas (CSNH), y así obtener los parámetros de humificación (índice de humificación, grado de

humificación, razón de humificación y relación CAH/CAF). Del análisis fisicoquímico, consideraron el suelo como no salino por tener 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. Se determinó para el contenido de carbono total una correlación lineal significativa en casi todos los parámetros de humificación del suelo. Esta investigación es de suma importancia para corroborar la significancia que tienen los parámetros de humificación en el suelo bajo estudio, así como el empleo de la metodología para la extracción de las fracciones para el cálculo de los mismos (Zerpa, 2012).

### **2.2.3. Fraccionamiento químico de carbono orgánico y su relación con la actividad microbiológica, biomasa microbiana y cantidad de ADN en suelos cacaoteros venezolanos**

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. Obtuvieron el índice de humificación, grado de humificación, razón de humificación y la relación de ácidos húmicos respecto a los ácidos fúlvicos, donde observaron según los parámetros de humificación obtenidos durante el estudio de estos tipos de suelos cuales poseían mayor contenido de material humificado. 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 CAH/CAF, 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 (Armado *et al.*, 2009).

#### **2.2.4. Caracterización del humus de suelos del macizo de Ayllón**

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 (Hernando *et al.*, 2003).

#### **2.2.5. Biorecuperación de suelos salinos con el uso de materiales orgánicos**

El objetivo planteado en esta investigación fue el evaluar la biorecuperación de un suelo con problemas salino-sódico con la aplicación de dos proporciones (1,5 y 3,0)% p/p de tres enmiendas orgánicas: compost, vermicompost sólido y *Lenna*, mezclados o no, con el 100% de los requerimientos de fosfoyeso, generándose 15 tratamientos (incluyendo tres controles). Esta evaluación tuvo lugar mediante tres ensayos: 1.Columnas simuladas de suelo; 2.Evolución de CO<sub>2</sub>; y 3.Crecimiento de plántulas de tomate. Para la evaluación de la germinación y crecimiento de plántulas de tomate detectaron diferencias significativas entre los tratamientos para las variables evaluadas, pero sin haber diferencias entre las proporciones ni entre la utilización del fosfoyeso mezclado con las enmiendas orgánicas. Concluyeron que la enmienda que mostró menor potencial de bioremediación fue la *Lenna* por sus altos contenidos de Na<sup>+</sup>; y en la respuesta del cultivo la mejor enmienda fue el vermicompost. Esto apoya esta investigación en cuanto al resultado positivo de la enmienda empleada como bioremediación de este tipo de suelos, así como también el empleo de la germinación de plántulas de tomate como ensayo para dicha evaluación (Hernández, 2011).

#### **2.2.6. Evaluación de sustratos alternativos para la producción de pilones del cultivo de tomate *Lycopersicum Sculentum Mill***

La investigación se enfocó a la evaluación del efecto de distintos sustratos orgánicos a partir de la mezcla de materiales orgánicos utilizando microbiología

para su descomposición y homogenización, en el crecimiento de plántulas de tomate híbrido Silverado bajo condiciones de invernadero. La investigación se realizó en dos localidades: El vivero de la carrera de Agronomía en el Centro Universitario de Oriente CUNORI, del municipio de Chiquimula, Chiquimula y en la empresa Pilonés Cristo Negro en el municipio de Esquipulas, Chiquimula, Guatemala en el periodo comprendido de enero de 2010 a febrero de 2011. Emplearon un diseño de bloques completamente al azar, efectuando análisis de Varianza y pruebas de medias a los resultados para evaluar las diferencias entre los tratamientos. Evaluaron 6 sustratos alternativos compuestos por diferentes materiales orgánicos e inorgánicos para determinar el efecto en el desempeño de las plantas de tomate en cuanto al porcentaje de germinación, altura de planta, diámetro del tallo, materia seca de la parte aérea, materia seca de raíces, calidad de adobe, porcentaje de plantas trasplantables y porcentaje de rendimiento de las plantas de tomate. Entre los resultados obtuvieron que los diferentes tratamientos evaluados poseen propiedades físicas dentro de los rangos permitidos. Los tratamientos con abono orgánico tipo bocashi presentaron un alto contenido nutricional, pH y conductividad eléctrica. El porcentaje de germinación y desarrollo de las plantas de tomate fueron afectados por los niveles de conductividad eléctrica que presentaban los sustratos en la localidad del vivero de la carrera de Agronomía. Esta investigación sirve de apoyo para ver el efecto que tiene la salinidad de las muestras orgánicas sobre el crecimiento de las plántulas de tomates (Picón, 2013).

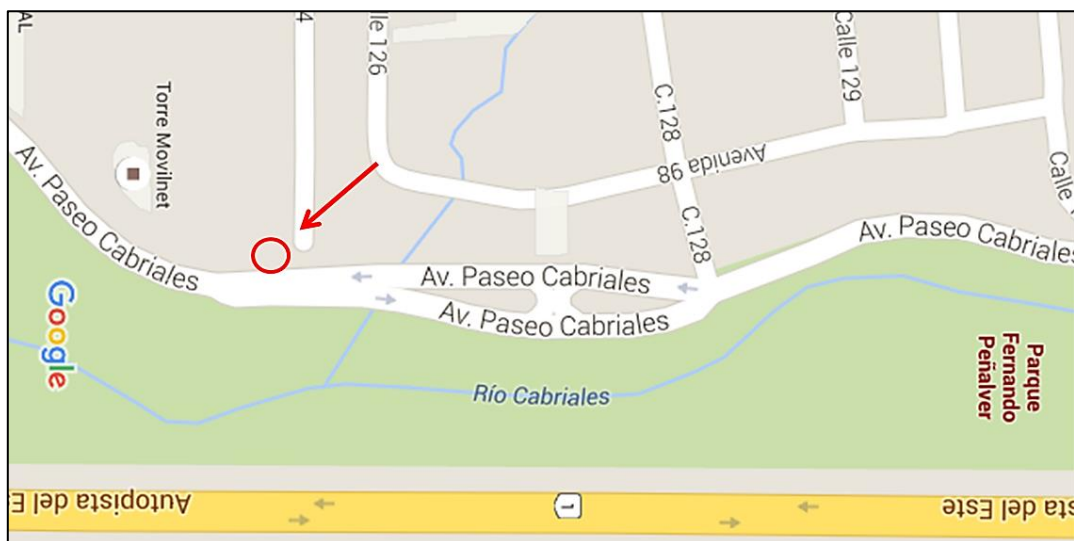
### CAPÍTULO III

## MARCO METODOLÓGICO

### 3.1. Ubicación, Muestreo y Preparación de Muestras

#### 3.1.1. Ubicación y descripción del área de colecta del compost

La zona donde se realiza el proceso de compostaje está ubicada a una latitud:  $10^{\circ}12'07.1''N$  y longitud:  $68^{\circ}00'11.4''W$ , en el llamado “Vivero Agroecológico Fernando Peñalver” el cual se encuentra frente al Parque Fernando Peñalver de la ciudad de Valencia en el Edo. Carabobo (Figura 6).



**Figura 6.** Ubicación del “Vivero Agroecológico Fernando Peñalver” (Google Earth, 2016).

El área de compostaje está comprendida por una serie de 6 composteros techados establecidos en fila; donde se procesan solamente 3-4 pilas de compostaje a la vez,

siendo los otros depósitos para los restos de poda, hojas secas, y estiércol de caballo que se emplean en cada etapa del proceso en el compost.

La Norma de Calidad de Compost de Chile establece que, para productos comercializados a granel, se deben tomar submuestras por cada metro lineal de la pila de compost desde la superficie hasta una profundidad de 10 cm. Las sub-mezclas se mezclan, se homogenizan y de ahí se toma una muestra de 1 Kg para su análisis. Luego, esta muestra se deberá introducir en una bolsa plástica cerrada (Comisión Nacional del Medio Ambiente, 2000).

Se seleccionó y tomó de una pila de compostaje alrededor de 5 submuestras elementales en diferentes lugares, alturas y profundidades de la pila, evitando tomar submuestras en los primeros 10-15 cm de profundidad y en las zonas donde pudiera existir una acumulación de agua. Posteriormente, a estas submuestras elementales se les realizó un primer tamizado en el sitio, con el propósito de mantener el menor volumen de residuos y de muestra posible para su posterior traslado, se agruparon y mezclaron en un recipiente limpio y seco para ser homogenizado, y luego se obtuvo una muestra final representativa de aproximadamente 1 Kg, la cual se trasladó y preparó para los análisis en el laboratorio.

### **3.1.3. Ubicación y descripción del terreno de suelo bajo estudio**

La zona bajo estudio del suelo se ubica adyacente al Sector Lago Jardín, a una latitud: 10°13'34.8"N y longitud: 67°50'39.4"W del Municipio Guacara en el Edo. Carabobo (cercano al Lago Valencia), siendo éste un terreno con cultivos varios de aproximadamente 1 ha de extensión (Figura 7).



**Figura 7.** Ubicación de la zona del muestreo del suelo (Google Earth, 2016).

Se empleó una modificación de la metodología usada por Martínez (2015), realizando un muestreo simple de forma aleatoria en el campo, con un recorrido del terreno en forma de zigzag. Se tomaron entre 20-25 submuestras de aproximadamente 2 Kg, con una distancia aproximada de 10 m entre cada punto de muestreo. Posteriormente, dichas submuestras se mezclaron y homogenizaron por cuarteo para formar una muestra compuesta homogénea, que represente las características globales de la zona en estudio. Luego, dicha muestra compuesta se secó al aire por 48 h y se tamizó (un tamaño de poro de 2 mm), y de esto se tomaron un par de muestras representativas de aprox. 2-3 kg, y fueron trasladadas para posteriores análisis de laboratorio.

#### **3.1.4. Preparación de los sistemas suelo/compost**

Se prepararon 3 sistemas suelo/compost, por duplicado para cada tiempo de incubación, utilizando para cada uno de ellos cantidades variables de compost empleado como enmienda (5, 10, 50) %p/p; el suelo empleado se secó y tamizó previamente. Las cantidades de compost y suelo añadidos al sistema se calcularon de forma tal que los mismos presentaran un peso total de 500 g. Todos los sistemas

montados se incubaron por dos períodos de 60 y 90 días, manteniéndose a un 60% de la retención de humedad del suelo.

### 3.2. Determinación de las propiedades físicas y fisicoquímicas del compost y del suelo

Todos los análisis presentados a continuación se realizaron por triplicado para cada muestra de suelo y compost, así como también para los sistemas enmendados posteriores a su período de incubación. En la Tabla II, se muestra un resumen de las metodologías empleadas en cada determinación.

**Tabla II.** Resumen metodológico de las determinaciones de las propiedades físicas y fisicoquímicas.

| PARÁMETRO                                | MÉTODO  | TÉCNICA         | REFERENCIA  |
|--|---|-----------------|---|
| Retención de Humedad (%)                 | 15 g de suelo<br>Agua en reposo<br>6 horas  | Gravimétrica    | (Jackson M. L., 1970)                                     |
| Textura                                  | 10 mL de suelo<br>Sol. Dispersante  | Sedimentación   | (Molera & Llitjos, 1995)                                  |
| Contenido de Humedad (%)                 | 5 g de muestra<br>T = 105°C<br>en 24h   | Gravimétrica    | (Jackson M. L., 1970)                                     |
| Materia Orgánica del Suelo (MOS)         | 5 g de muestra<br>T = 400°C<br>en 20h   | Gravimétrica    | (Jaramillo, 2002)   |
| Carbono Orgánico Total (COT)             | 0,1 g de muestra<br>Sol. K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> +<br>Sol. H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | Colorimétrica   | (Walkley & Black, 1984)<br>(Walinga <i>et al.</i> , 1992) |
| pH                                       | 1:2 agua  | Potenciométrica | (Montoya, 2012)   |
| Conductividad                            | 1:2 agua  | Conductimétrica | (Montoya, 2012)   |
| Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) | NH <sub>4</sub> OAc<br>1M pH=7  | Volumétrica     | (Yasuo & Akio, 1980) &<br>(SSL, 1996)                     |

### 3.2.1. Textura

Esta determinación se realizó aplicando una modificación del método propuesto por Molera & Llitjos (1995), donde se colocaron 10 mL de suelo en un cilindro graduado de 50 mL, y se adicionó hasta aforar una solución dispersante (40 g de pirofosfato de sodio y 10 g de bicarbonato de sodio en 1 L de agua destilada) con un pH entre 8 y 9, luego se agitó vigorosamente durante 3 minutos, dejándose sedimentar, marcando la primera altura de sedimento al transcurrir 60 segundos ( $L_1$ ) y después la segunda altura al transcurrir 10 minutos ( $L_2$ ). Para la obtención de la textura del suelo se calculó el porcentaje de arena, limo y arcilla en cada muestra (Ec. 1, Ec. 2, Ec. 3).

$$\% \text{ Arena} = \frac{L_1}{10\text{mL}} * 100\% \quad (\text{Ecuación 1})$$

$$\% \text{ Arcilla} = \frac{(L_2 - L_1)}{10\text{mL}} * 100\% \quad (\text{Ecuación 2})$$

$$\% \text{ Limo} = 100 - (\% \text{ Arena} + \% \text{ Arcilla}) \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde,

$L_1$  y  $L_2$ : son los volúmenes en mL leídos al transcurrir 60 s y 10 min, respectivamente.

### 3.2.2. Retención de Humedad

Se empleó el método de Jackson (1970), se pesó 15 g de suelo secado al ambiente, el cual se colocó en un embudo con lana de vidrio previamente pesado, tarado y etiquetado. Posteriormente, se adicionó agua destilada hasta observar goteo, y se dejó en reposo a temperatura ambiente por 6 horas, para finalmente ser pesado nuevamente. Esta determinación se realizó únicamente para las muestras de suelo a fin de conocer su capacidad de retención de humedad para el preparado de los

sistemas incubados. El porcentaje de retención de humedad se determinará por diferencia de peso (Ec. 4).

$$\%RH = \frac{P_{H_2O,R}}{P_m} * 100\% \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde,

$\%RH$ : Porcentaje de retención de humedad.

$P_{H_2O,R}$ : Peso en gramos de agua retenida.

$P_m$ : Peso en gramos de muestra de suelo.

### 3.2.3. Contenido de Humedad

Empleando una modificación de Jackson (1970), se tomaron 5 g de muestra en un crisol previamente pesado y se colocaron en la estufa por 24 horas a 105°C. Transcurrido este tiempo, se colocaron en el desecador hasta alcanzar temperatura ambiente y se pesó nuevamente la muestra. El valor del contenido de humedad se obtuvo por diferencia en los pesos obtenidos (Zambrano, 2014). Posteriormente, se calculó el porcentaje de humedad contenido en la muestra (Ec. 5).

$$\%Humedad = \frac{P_{muestra} - (P_{crisol,m} - P_{crisol})}{P_{muestra}} * 100\% \quad (\text{Ecuación 5})$$

Donde,

$P_{crisol,m}$ : Peso en gramos del crisol con la muestra después de evaporar.

$P_{crisol}$ : Peso en gramos del crisol vacío.

$P_{muestra}$ : Peso en gramos de muestra inicial por diferencia de pesos.



### 3.2.4. Materia orgánica del suelo (MOS)

Se empleó un método gravimétrico modificado (Jaramillo, 2002). Siguiendo el procedimiento posterior a la determinación del contenido de humedad, la muestra se calcinó a 400°C en la mufla durante 20 horas, y luego se retiró y dejó enfriar en el desecador para ser pesado nuevamente. La cantidad de materia orgánica se determinó por diferencia de peso entre las medidas antes y después de calcinar (Ec. 6).

$$\%MOS = \frac{(P_m - P_{dc})}{P_m} * 100 \quad (\text{Ecuación 6})$$

Donde,

$\%MOS$ : Porcentaje de materia orgánica del suelo.

$P_{dc}$ : Peso en gramos de la muestra después de calcinar.

$P_m$ : Peso en gramos inicial de muestra luego de evaporar la humedad.

### 3.2.5. pH y Conductividad Eléctrica

Para la determinación de estas propiedades se empleó la metodología de Montoya (2012), donde se toma una relación 1:2 en agua. Se pesaron 3 g de muestra en tubos de ensayo tipo falcon. Se adicionaron 6 mL de agua destilada, se agitaron todos por 30 min, se centrifugo durante 10 min a 1500 rpm. Finalmente se determinó el pH a todos los sobrenadantes con un pH-metro y la conductividad eléctrica se determinó con un conductímetro.

### 3.2.6. Carbono Orgánico Total (COT)

La determinación de carbono orgánico se realizó por el método Walkley & Black modificado, en el cual el suelo se oxida con una solución de dicromato de potasio

estandarizada, utilizando el calor producido por la dilución de ácido sulfúrico concentrado, en la solución crómica (Walinga *et al.*, 1992). El procedimiento para la determinación se describe a continuación:

Se pesaron 0,1 g de muestra 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 de 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 1-12 mg.C como se describe en la Tabla III. 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. En la Figura 8 se muestran los patrones preparados.

Para obtener el carbono orgánico total (COT) 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. El carbono orgánico total se determinó asumiendo que bajo las condiciones del método hay una oxidación promedio del 75% (Ec.7).

$$\%C = \frac{(A - b) * V_{sol}}{m * P_m * 1000} \quad (\text{Ecuación 7})$$

Donde,

$\%C$ : Porcentaje de carbono orgánico total en la muestra.

$A$ : Valor de Absorbancia obtenida.

$m$ : Pendiente de la curva de calibración.

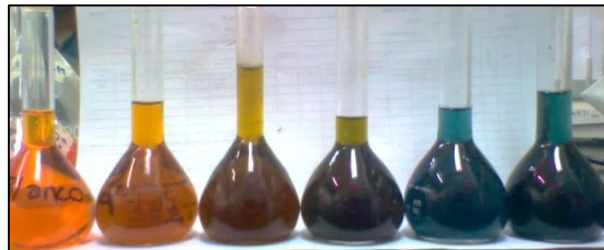
$b$ : Punto de corte de la curva de calibración.

$V_{sol}$ : Volumen en L de la solución aforada de la muestra.

$P_m$ : Peso en gramos de la muestra.

**Tabla III.** Preparación de las soluciones patrones para la curva de calibración de Glucosa.

| Patrón         | Volumen de la alícuota (50 mg/L) | Concentración Patrón (mg.C/L) |
|----------------|----------------------------------|-------------------------------|
| B              | 0                                | 0                             |
| P <sub>1</sub> | 2                                | 1                             |
| P <sub>2</sub> | 5                                | 2,5                           |
| P <sub>3</sub> | 10                               | 5                             |
| P <sub>4</sub> | 20                               | 10                            |



**Figura 8.** Patrones de glucosa tratados mediante el método de Walkley-Black.

### 3.2.7. Determinación de Nitrógeno

Se realizó una determinación Kjeldahl (Faithfull, 2005), en donde la muestra sufre dos etapas: etapa de digestión y etapa de destilación. Esta determinación se hizo para la muestra de suelo y enmienda (compost), los procedimientos se describen a continuación:

#### **Etapas de digestión**

Se transfieren 5 g de suelo secado al aire, molido para que pase por un tamiz de 2 mm de malla, al interior de un matraz Kjeldahl y se añaden cuatro tabletas de sulfato de sodio (10 g apróx.) y una pastilla de catalizador cobre-selenio (0,5 g de sulfato de

cobre pentahidratado y 0,02 g de selenio). Se añaden 25 mL de ácido sulfúrico. Se remueve el ácido hasta que las partículas de la muestra no se adhieran al fondo del matraz.

Se calienta el matraz suavemente hasta que cesa la formación de espumas, más fuertemente hasta que la disolución se vuelve más clara y, a continuación, durante una hora más, con el ácido sulfúrico condensando en la parte inferior del cuello del matraz. Se deja enfriar, se añaden con cuidado aproximadamente 100 mL de agua y se calienta para disolver el material soluble. Cuando se ha enfriado, se transfiere cuantitativamente dentro de un matraz volumétrico de 250 mL y se diluye hasta 250 mL. La digestión diluida se conserva para la determinación del nitrógeno amónico.

### **Etapa de destilación**

Se toman con una pipeta 10 mL de la muestra digerida, y se transfieren al módulo de destilación. Se añaden 7 mL de disolución de hidróxido de sodio (50% m/v), y el amoníaco desprendido se destila por arrastre de vapor dentro de 5 mL de disolución de ácido bórico (1% m/v). Se recogen 20 mL del destilado. Se añaden 2-3 gotas del indicador Tashiro (rojo de metilo-azul de metileno) y se valora con ácido sulfúrico 0,01 M, hasta que el color verde cambia a morado/azul. Se realiza una determinación en blanco utilizando 5 mL de agua en lugar de la muestra.

Se sustrae el valor obtenido para el blanco del resultante para la muestra digerida. La diferencia se multiplica por 1,4007. El resultado representa lo  $\text{g.kg}^{-1}(\text{suelo})$  de nitrógeno en la muestra (Ec. 8). Se multiplica la diferencia por 0,14007 para obtener el % de N en la muestra (Ec. 9).

$$N = (V_m - V_b) * 1,4007 * F_{Dil}. \quad (\text{Ecuacion 8})$$

$$\%N = (V_m - V_b) * 0,14007 * F_{Dil}. \quad (\text{Ecuacion 9})$$

Donde,

$N$ : Nitrógeno en  $\text{g.kg}^{-1(\text{suelo})}$  contenido en la muestra.

$\%N$ : Porcentaje de nitrógeno contenido en la muestra.

$V_m$ : Volumen en mL gastado de ácido para la muestra.

$V_b$ : Volumen en mL gastado de ácido para el blanco.

$F_{Dil.}$ : Factor de dilución.

### 3.2.8. Relación C/N

La relación de carbono/nitrógeno (C/N) se determinará relacionando los parámetros determinados anteriormente, mediante la siguiente ecuación:

$$C/N = \frac{C}{N} * 100 \quad (\text{Ecuación 10})$$

Donde,

$C$ : es el porcentaje de Carbono Orgánico Total determinado en la muestra.

$N$ : es el porcentaje de Nitrógeno Total determinado en la muestra.

### 3.2.9. Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)

#### Para la enmienda (Compost)

Para el compost se empleó la metodología descrita por Yasuo & Akio (1980). Se pesaron 0,2 g de la muestra de compost, y se filtró al vacío. Se añadieron 25 mL de HCl 0,05 M, y dejándose en reposo por 20 min, para ser filtrado nuevamente, repitiendo el proceso. Se realizaron lavados con agua destilada (aprox. 150 mL de agua). Posteriormente se añadieron 25 mL de  $\text{Ba}(\text{OAc})_2$  1 M (pH=7,0), dejándose reposar por 1 hora. Se filtró la solución y se añadieron otros 25 mL de  $\text{Ba}(\text{OAc})_2$  1 M, repitiendo el procedimiento. Se realizó otro lavado con agua destilada (aprox. con

150 mL). Finalmente se combinaron todos los filtrados y lavados, y se titularon con una solución estandarizada de NaOH 0,05 M, utilizando azul de timol como indicador. El blanco se tomó con la misma cantidad de solución 1 M de Ba(OAc)<sub>2</sub>. La diferencia entre los dos valores de titulación es equivalente con la liberación de protones de la muestra, con el cual se obtuvieron los valores del CIC (Ec. 11).

$$CIC_{enmienda} = V_m - V_B \quad (\text{Ecuación 11})$$

Donde,

$CIC_{enmienda}$ : Capacidad de intercambio catiónico para la enmienda.

$V_m$ : Volumen de NaOH 0,05 M gastado en la titulación de la muestra.

$V_B$ : Volumen de NaOH 0,05 M gastado en la titulación del blanco.

### **Para el suelo y los sistemas incubados**

Se empleó el método descrito por el Laboratorio de Estudio de Suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (SSL, 1996), siguiendo el siguiente procedimiento en etapas:

#### Preparación de la muestra

Se pesaron 5 g de muestra secada al aire y tamizada 2 mm. Luego, se adicionaron 25 mL de acetato de amonio (NH<sub>4</sub>OAc) 1 M a pH 7, colocándolo en agitación por 30 min. Posteriormente, se filtró, realizando pequeños lavados con acetato de amonio, y lavando el exceso de amonio con 2 porciones de 25 mL de etanol al 95% v/v.

#### Bases intercambiables (Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup>)

Para esta determinación, del filtrado anterior se tomaron alícuotas de 20 mL. Luego, se agregaron 2 mL de solución buffer de amonio hasta alcanzar un pH 10, adicionándole 2-3 gotas de indicador negro de eriocromo T (NET). Posteriormente, se

titularon con una solución estandarizada de EDTA 0,03 M, observando el viraje de color púrpura-azul.

Titulación de  $Ca^{+2}$

Se tomaron alícuotas de 10 mL del filtrado obtenido para las bases intercambiables. Luego, se agregaron 2 mL de solución de NaOH 6 M hasta alcanzar un pH 10, y se adicionaron 2-3 gotas de indicador de ácido calconcarboxílico. Posteriormente, se titularon con la misma solución estandarizada de EDTA 0,03 M, observando el viraje de color púrpura-azul. Se determinaron el contenido de las bases intercambiables mediante las relaciones estequiométricas respectivas para cada base (Ec.12, Ec.13 y Ec.14).

$$\frac{m_{eq,Ca^{+2}}}{100g_{muestra}} = \frac{V_{EDTA} * F_{Dil.} * M_{EDTA} * 100}{m_{ms}} \quad (Ecuación 12)$$

Donde,

$m_{eq,Ca^{+2}}$ : Masa equivalente de calcio.

$V_{EDTA}$ : Volumen en mL de EDTA añadido.

$F_{Dil.}$ : Factor de dilución.

$M_{EDTA}$ : Concentración real de la solución de EDTA.

$m_{ms}$ : Masas de la muestra seca en gramos.

$$V_{EDTA,Mg^{+2}} = V_{EDTA,Ca^{+2}+Mg^{+2}} - V_{EDTA,Ca^{+2}} \quad (Ecuación 13)$$

Donde,

$V_{EDTA,Mg^{+2}}$ : Volumen en mL de EDTA necesario para el  $Mg^{+2}$ .

$V_{EDTA,Ca^{+2}}$ : Volumen en mL de EDTA añadido para el  $Ca^{+2}$ .

$V_{EDTA, Ca^{+2}+Mg^{+2}}$ : Volumen en mL de EDTA añadido para las bases intercambiables.

$$\frac{m_{eq, Mg^{+2}}}{100g_{muestra}} = \frac{V_{EDTA} * F_{Dil.} * M_{EDTA} * 100}{m_{ms}} \quad (Ecuación 14)$$

Donde,

$m_{eq, Mg^{+2}}$ : Masa equivalente de calcio.

$V_{EDTA}$ : Volumen en mL de EDTA necesario para el  $Mg^{+2}$ .

$F_{Dil.}$ : Factor de dilución.

$M_{EDTA}$ : Concentración molar real de la solución de EDTA.

$m_{ms}$ : Masa de la muestra seca en gramos.

#### Determinación del Intercambio Catiónico

La muestra sólida remanente en el papel de filtro de las bases intercambiables, se colocó en un frasco y se agregaron 50 mL de NaCl al 10% p/v, y se sometió a una agitación constante por 24 horas. Pasado ese tiempo, se filtró la solución, haciendo dos lavados con 10 mL de agua destilada. Al filtrado obtenido, se le agregaron 10 mL de formaldehído al 40% v/v, con 2-3 gotas de fenolftaleína. Paralelamente, se preparó un blanco con 50 mL de NaCl al 10% p/v, 10 mL de formaldehído al 40% v/v y 20 mL de agua destilada. Se tituló el filtrado y el blanco con una solución estandarizada de NaOH 0,1 M hasta observar una coloración rosa pálido. La CIC se determinó con las relaciones respectivas (Ec. 15).

$$CIC = \frac{(V_m - V_b) * M * 100}{P_m} \quad (Ecuación 15)$$

Donde,

$CIC$ : Capacidad de Intercambio Catiónico.



$V_m$ : Volumen en mL de NaOH gastado en la titulación de la muestra.

$V_b$ : Volumen en mL de NaOH gastado en la titulación del blanco.

$M$ : Molaridad de la solución estandarizada de NaOH.

$P_m$ : Peso en gramos de la muestra.

### 3.3. Determinación de los parámetros de humificación

Esta determinación se realizó mediante la metodología de Ciavatta *et al.* (1991), basada en la diferencia de solubilidad de las sustancias húmicas en ácidos y bases, para el compost, suelo y los sistemas incubados (60 y 90 días), en todas las relaciones (5, 10, 50)% p/p.

#### 3.3.1. Extracción y fraccionamiento de las sustancias húmicas

Se pesaron 10 g de muestra y se colocaron en un recipiente, se añadió 100 mL de una solución combinada 1:1 de NaOH/Na<sub>4</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub> al 0,1 M. Se tapó bien el recipiente y se sometió a una agitación por aproximadamente 24 horas (Figura 9).



**Figura 9.** Muestras en agitación con mezcla de NaOH/Na<sub>4</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 0,1 M.

Luego se centrifugó a 3500 rpm durante 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  $\mu\text{m}$ . 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) (Figura 10).



**Figura 10.** Filtración por gravedad de las muestras tratadas con  $\text{NaOH}/\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$  0,1M.

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  $\text{H}_2\text{SO}_4$  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  $\text{NaOH}$  0,5 M, luego se trasvasó a un balón volumétrico de 50 mL y se aforó con la misma solución de  $\text{NaOH}$  0,5 M (Figura 11).



**Figura 11.** 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  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,01 M, la fracción que no quedó retenida en la columna correspondió a fracción de material no

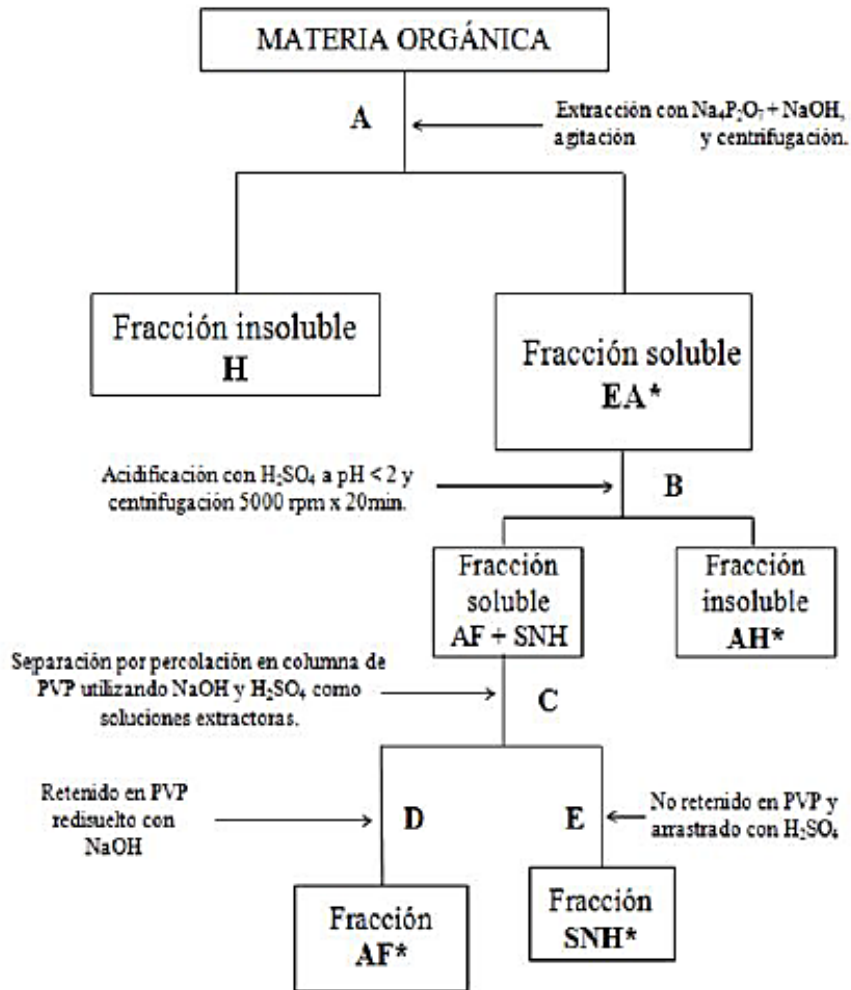
humificado, es decir, las sustancias no húmicas (SNH). Esta fracción se arrastró completamente con una solución 0,01 M de  $H_2SO_4$  y se llevó al aforo en un balón de 50 mL con la misma solución.

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 (Figura 12).



**Figura 12.** 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 13, se muestra un esquema del fraccionamiento químico de la materia orgánica según el procedimiento descrito anteriormente.



**Figura 13.** Esquema de metodología descrita por Ciavatta *et al.* (1991), ligeramente modificado.

Donde,

H: Huminas.

AH: Ácidos húmicos.

AF: Ácidos Fúlvicos.

SNH: Sustancias no húmicas

A: Etapa de álcalis con mezcla Base Fuerte/Sal neutra.

Obtención de H y EA.

B: Etapa de acidificación con Acido Fuerte, para la precipitación de los AH.

C: Etapa de separación de AF y SNH por percolación en la columna de PVP.

D: Redisolución y arrastre de la fracción AF con base fuerte.

E: Araste de la fracción no humificada SNH con ácido fuerte.

\*Fracciones que serán utilizadas para determinar los parámetros de humificación en el suelo a estudiar

### 3.3.2. 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 (EXT), y se llevó a sequedad, sometiendo la muestra a una temperatura de 40°C (Figura 14).



**Figura 14.** Alícuotas de cada una de las fracciones EXT, AH, AF, SNH previas a la evaporación.

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 EXT y el porcentaje de carbono orgánico asociado a las fracciones AH, AF y SNH (Figura 15).



**Figura 15.** Determinación de carbono orgánico total en las fracciones EXT, AH, AF, SNH presente en las muestras de suelo tratadas.

### 3.3.3. Cálculo de los parámetros de humificación

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:

#### Índice de humificación

$$IH = \frac{C_{SNH}}{C_{AF} + C_{AH}} \quad (\text{Ecuación 16})$$

#### Grado de humificación

$$GH = \frac{C_{AF} + C_{AH}}{C_{EXT}} * 100 \quad (\text{Ecuación 17})$$

#### Razon de humificación

$$RH = \frac{C_{AF} + C_{AH}}{C_{TOT}} * 100 \quad (\text{Ecuación 18})$$

#### Relación ácidos húmicos/ácidos fúlvicos

$$R_{AH,AF} = \frac{C_{AH}}{C_{AF}} \quad (\text{Ecuación 19})$$

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.

### **3.4. Ensayos de respuesta vegetal en plántulas de tomate (*Solanum Lycopersicum L.*)**

Se empleó el método modificado por Hernández (2011), empleando semillas certificadas de tomate (*Solanum Lycopersicum L.*), el procedimiento se muestra a continuación:

Se tomaron las semillas y se tuvieron en humectación por 2 horas previamente para acelerar el proceso de germinación. Luego se tomaron 2 semillas y se sembraron en recipientes plásticos con perforaciones en el fondo de apróx. 250 mL de capacidad, conteniendo 300 g para cada sistema en estudio (todos los sistemas se montaron por triplicado, ver Figura 16). Se mantuvieron en un sistema aislado de luz, empleando una bolsa negra, por 72 horas. Pasado este tiempo se destaparon, y se mantuvo un proceso de regado de 2 veces por día. Luego de la primera semana se aclararon los sistemas dejando solo una de las semillas germinadas por sistema. Monitoreando las germinaciones en cada sistema montado. Se mantuvo un monitoreo de la altura y las germinaciones para los días 10, 17, 24 y 30 días del proceso de germinación. Pasados los 30 días, se procedió al cortado lavado de raíces, envasado y etiquetado de cada plántula para ser trasladadas al laboratorio y se determinaron las variables de crecimiento de cada planta.



**Figura 16.** Montaje de las germinaciones para cada sistema evaluado.

### **Altura de la plántula**

Para esta medición se midió la distancia desde la base del tallo hasta la yema apical “Y” empleando una regla graduada (Figura 17.a).

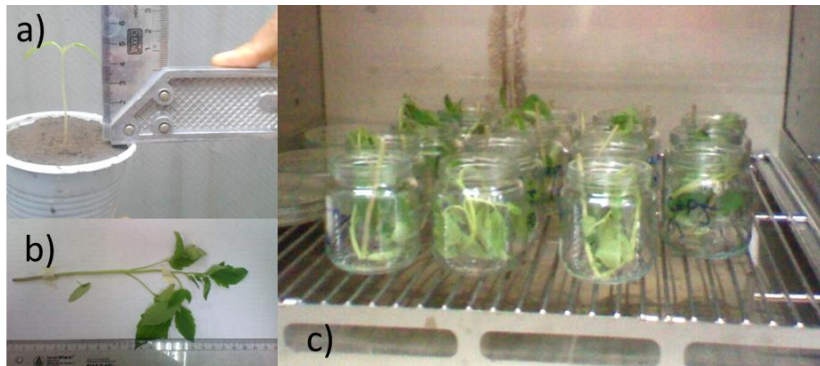
### **Diámetro de tallo**

Para esta medición se tomó el diámetro del tallo en la parte inferior de la plántula (Figura 17.b).

### **Materia Seca**

Esta determinación se realizó de manera indirecta para cada plántula individual. Se pesó cada plántula en una balanza digital, y se secó en la estufa a 60°C por 2 ciclos de 10 min. A finalizar el proceso, se pesó nuevamente cada muestra y la MS se estimó por relación con el peso previo al secado (Figura 17.c). Las mediciones de MS se promediaron para obtener un solo valor de la MS total contenida por cada plántula (Petruzzi, 2005).





**Figura 17.** Mediciones de los parámetros de germinación a las plántulas; a) altura de la plántula, b) diámetro del tallo, c) materia seca.

### **3.5. Análisis estadístico de los resultados**

Se determinó el promedio de cada variable en estudio, su desviación estándar y el límite de confianza. Según Miller & Miller (2002), el límite de confianza se refiere a los extremos del intervalo dentro del cual se puede suponer de manera razonable que se encuentra el valor verdadero. Seguidamente se empleó el método estadístico de análisis de la varianza (ANOVA) el cual permitió determinar si existían diferencias significativas entre las medias de las muestras enmendadas con compost.

Con el propósito de estudiar la influencia que tiene la enmienda bajo estudio en las propiedades físicas y fisicoquímicas, así como también sobre los parámetros de humificación estudiados en las muestras de suelo, se realizó un diseño factorial multinivel controlando los factores tiempo de incubación (2 niveles) y contenido de enmienda (3 niveles). Los atributos y especificaciones del diseño se muestran en la Tabla IV.

**Tabla IV.** Diseño Factorial Multinivel.

| <b>Factores</b>              | <b>Bajo</b> | <b>Medio</b> | <b>Alto</b> | <b>Niveles</b> | <b>Unidades</b> |
|------------------------------|-------------|--------------|-------------|----------------|-----------------|
| <b>TIEMPO DE INCUBACIÓN</b>  | 60,0        | -            | 90,0        | 2              | Días            |
| <b>CONTENIDO DE ENMIENDA</b> | 5,0         | 10,0         | 50,0        | 3              | %               |

Replicas: 3, corridas: 18. Fuente: Statgraphics centurión XVI.

En cuanto al evaluar la fitotóxicidad de la enmienda sobre el suelo, se realizó un diseño de experimento factorial  $3^2$  (2 factores a 3 niveles), para los tres tiempos de incubación que se estudiaron en los bioensayos (0, 60 y 90) días en relación con el contenido de enmienda empleado (5, 10 y 50)%. Los atributos y especificaciones del diseño se muestran en la Tabla V.

**Tabla V.** Diseño Factorial  $3^2$ .

| <b>Factores</b>              | <b>Bajo</b> | <b>Medio</b> | <b>Alto</b> | <b>Unidades</b> | <b>Continuo</b> |
|------------------------------|-------------|--------------|-------------|-----------------|-----------------|
| <b>TIEMPO DE INCUBACIÓN</b>  | 0           | 60           | 90          | Días            | Sí              |
| <b>CONTENIDO DE ENMIENDA</b> | 5           | 10           | 50          | %               | Sí              |

Replicas: 3, corridas: 27. Fuente: Statgraphics centurión XVI.

El experimento factorial detecta y estima cualquier interacción que no puede hacer el experimento de un factor a la vez. Si los efectos de los factores son aditivos, entonces el diseño factorial necesita menos medidas que la aproximación clásica para proporcionar la misma precisión (Miller & Miller, 2002).

Por otra parte, se verificó el comportamiento normal de los datos empleando para ello las gráficas de probabilidad normal, para así poder seleccionar el mejor análisis de correlación estadístico a emplear en dichos datos. Luego de verificar que el comportamiento normal no se ajustó a todas las variables respuestas estudiadas, se empleó el coeficiente de correlación ordinal de Spearman ( $r_s$ ) para determinar si existe correlación entre los parámetros de humificación y los parámetros de

germinación estudiados. Sabiendo que, como en otros estadísticos no paramétricos, en el coeficiente de correlación ordinal de Spearman,  $r_s$ , no es necesario que el conjunto de datos bajo estudio se distribuyan normalmente (Miller & Miller, 2002).

Todos los análisis de estadística descriptiva se llevaron a cabo con el software libre Past 3 versión 3.10, en conjunto con el software Statgraphics Centurión XVI versión 16.1 para el montaje del diseño experimental.

## **CAPÍTULO IV**

### **ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS**

En este capítulo se presentan los análisis de los resultados obtenidos, con el fin de evaluar el efecto causado por el compost en las propiedades físicas, fisicoquímicas y fitotóxicas del suelo, así como también, en la materia orgánica del suelo. Además de determinar la relación entre los parámetros de humificación y los parámetros de germinación estudiados.

#### **4.1. Caracterización de las muestras de suelo y compost**

Conocer las principales características físicas y fisicoquímicas del suelo y enmienda (compost) es de fundamental importancia debido a que, a través de éstas, es posible determinar la calidad, utilidad y funcionalidad de los mismos, cumpliendo con las normativas nacionales e internacionales. En la Tabla VI se presentan los valores obtenidos en la caracterización del suelo y compost según sus propiedades físicas y fisicoquímicas.

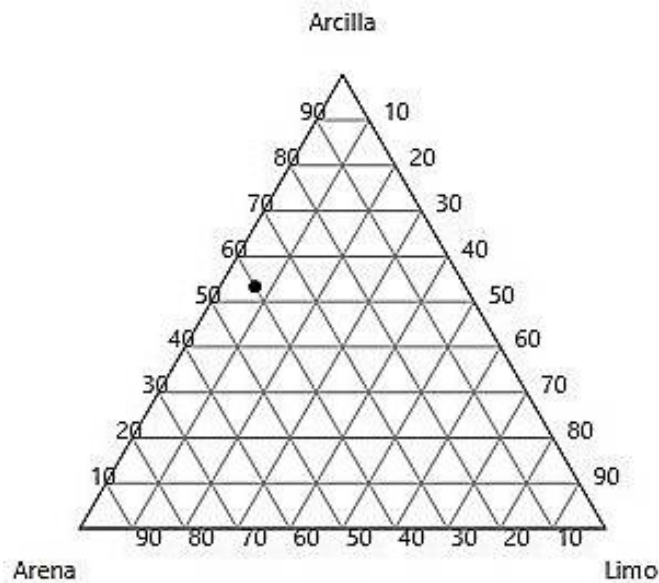
#### **Textura**

La textura se determinó primeramente para el suelo, obteniéndose valores de Arena (40%), Arcilla (53%) y Limo (7%). Posteriormente, graficando las proporciones texturales (Figura 18) y empleando como base el triángulo textural (Figura 19), se pudo establecer que este suelo es del tipo Arcilloso.

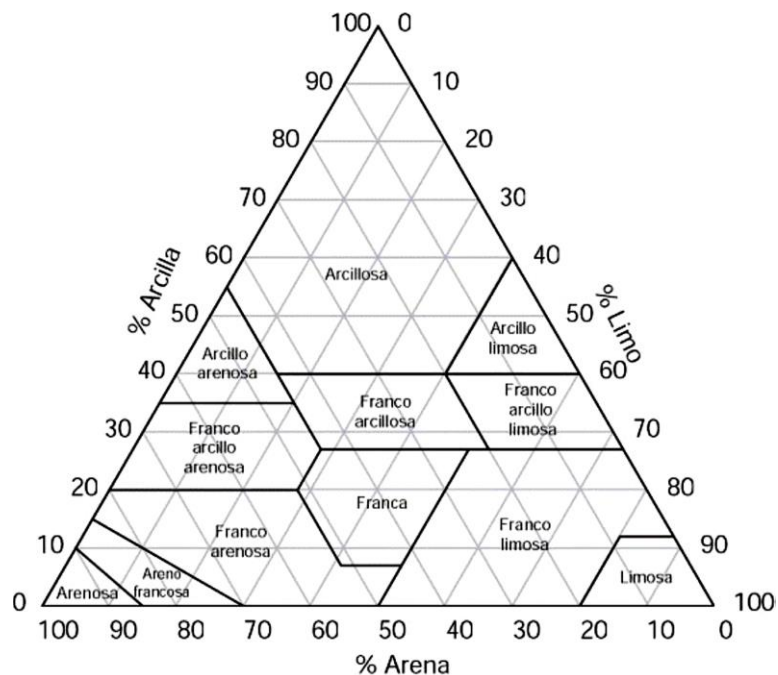
**Tabla VI.** Caracterización de las propiedades físicas y fisicoquímicas en las muestras del suelo y compost.

| PROPIEDAD                               | MUESTRA   |            |
|---|---|------------|
|   | Suelo   | Compost    |
| Retención de Humedad (%)                | 52,8 ± 0,3  | -----      |
| Contenido de Humedad (%)                | 3,1 ± 0,1 (H)   | 48,2 ± 0,4 |
| Materia orgánica del suelo (MOS)        | 5,6 ± 0,1   | 29,2 ± 0,3 |
| Carbono orgánico total (COT)            | 6,4 ± 0,3   | 23,3 ± 0,9 |
| Nitrógeno Total (%)                     | 1,8 ± 0,4   | ND         |
| Relación C/N                            | 3,8 ± 0,8   | -----      |
| pH                                      | 8,5 ± 0,1   | 6,8 ± 0,02 |
| CE ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ) | 472 ± 11  | 1917 ± 10  |
| CIC (cmol/kg)                           | 30,5 ± 0,2  | 53 ± 2     |
| Bases Intercambiables (ppm)             | $\text{Ca}^{+2}$ (4083,5 ± 0,3 )<br>$\text{Mg}^{+2}$ (2341,9 ± 0,2) | -----      |
| Textura                                 | Arcilloso   | -----      |

H: coeficiente higroscópico



**Figura 18.** Representación ternaria de los parámetros texturales (obtenido mediante el programa estadístico Past 3.10).



**Figura 19.** Triángulo textural (Bouyoucos, 1936).

### Contenido de Humedad

Para el suelo, se determinó el coeficiente higroscópico, el cual se refiere a la cantidad de agua que permanece en la muestra después de que ésta se haya hecho pasar por un proceso de secado al aire libre durante 48 horas (Casanova, 2005), presentado un valor de  $(3,1 \pm 0,1)\%$ . Conjuntamente, este suelo presentó un valor de retención de humedad del  $(52,8 \pm 0,3)\%$ , esto quiere decir que este tipo de suelos tiene una alta retención de humedad ya que por capilaridad, la fuerza de adhesión entre las moléculas de agua y las partículas sólidas del suelo es elevada y por lo tanto el agua es retenida con mayor fuerza (Jaramillo, 2002). Los abonos orgánicos sólidos deben ser adicionados al suelo con un contenido de humedad menor al 80% (Jaramillo, 2002), por lo cual este compost reflejando un valor de contenido de humedad del  $(48,2 \pm 0,4)\%$ , es aplicable como enmienda para este tipo de suelos.

## **pH**

La influencia del pH es determinante sobre la acción de los microorganismos y el intervalo de actividad bacteriana está entre 6,0 y 7,5 (Norma Chilena, 2005), los hongos actúan en un intervalo más amplio que va de 5,0 a 8,0. Con respecto al pH, el suelo tiene un valor promedio de  $(8,5 \pm 0,1)$ , eso hace que podamos clasificar el suelo como del tipo alcalino (León, 2013), lo cual supone una actividad microbiana baja, siendo este valor mucho mayor que el intervalo reportado por la norma. Según Gabeta (2009), el intervalo de pH en la estabilización del compost debe estar entre 7,5 y 8,5; obteniéndose para el compost, un valor promedio de  $(6,8 \pm 0,02)$  el cual se encuentra por debajo del intervalo mencionado anteriormente especialmente en el período de supuesta estabilización reportado por la norma. Sin embargo, esto funciona como corrector de basicidad dado que el suelo presentó una alcalinidad considerable. A su vez se puede afirmar que se encuentra dentro del intervalo de pH (6,0-7,5) sujeto a la norma para la actividad bacteriana, por lo que la actividad de los microorganismos es alta en esta fase del compost.

## **Conductividad Eléctrica (CE)**

La determinación de la conductividad eléctrica del suelo es una forma indirecta de medir la salinidad del agua o extractos de suelo. Esta propiedad de la solución del suelo se encuentra relacionada con el tipo y valencia de los iones presentes, sus concentraciones total y relativa, su movilidad, la temperatura del líquido y su contenido de sólidos disueltos (Fernández, 2012). Para el suelo, se obtuvo un valor de CE de  $(472 \pm 11) \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , por lo tanto este suelo puede ser clasificado como no salino, de acuerdo a (Boulding, 1994), ya que presentan valores menores de  $1200 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ . Por otra parte, el compost, con un valor de  $(1917 \pm 10) \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , se

encuentra por encima de los límites establecidos (500-1000)  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  (Norma Técnica Colombiana, 2004), lo cual indica que los materiales compostados presentan una alta salinidad, probablemente debido al contenido de excremento de caballo presente en el proceso de compostaje, el cual altera notablemente la cantidad de sales presentes en el mismo.

### **Nitrógeno Total**

Los microorganismos requieren 30 partes de carbono por 1 de nitrógeno (30/1), estando el óptimo entre 26 y 35. Si la relación es inferior –mayor contenido de nitrógeno- se produce pérdidas en forma amoniacal, si es mayor el proceso se ralentiza. La relación C/N al final debe ser menor de 25 y próxima a 15 (Labrador, 2008). Obteniéndose un valor de nitrógeno para el suelo de  $(1,8 \pm 0,4)\%$  con una relación C/N de  $(3,8 \pm 0,8)$ , se puede afirmar que proceso que se ve favorecido en el mismo es el de mineralización (Jaramillo, 2002). Por su parte, para el compost fue imposible detectar el nitrógeno mediante dicha metodología, lo cual supone dos posibles razones: a) que el contenido de nitrógeno en el mismo es muy bajo para ser determinado por este método, b) no es aplicable esta metodología ya que la matriz es mucho más compleja que la del suelo por lo que deben buscarse otras alternativas para su preparación.

### **Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)**

La CIC tiene una relación estrecha con el pH y con la textura del suelo, ya que el proceso de intercambio iónico se lleva a cabo debido a la presencia de cargas electrostáticas en los coloides del suelo, que interactúan con los iones presentes en la



solución del mismo (Jaramillo, 2002), por lo tanto, existe una relación intrínseca entre dichos parámetros. El contenido de arcilla, el tipo de arcilla y la materia orgánica afectan la CIC. En general, la CIC incrementa en suelos arcillosos y con contenidos altos de materia orgánica, teniendo valores mayores a 20 cmol/kg (Espinoza *et al.*, 2012). Para el suelo se encontró un valor de CIC de  $(30,5 \pm 0,2)$  cmol/kg, presentando una madurez media, debido a los minerales y tipo de arcilla que lo conforman. En cuanto al contenido de bases intercambiables, el suelo presentó valores de  $Ca^{+2}$   $(4083,5 \pm 0,3)$  ppm  $Mg^{+2}$   $(2341,9 \pm 0,2)$  ppm; los suelos arcillosos usualmente contienen concentraciones por encima de los 2500 ppm (Espinoza *et al.*, 2012). Por otro lado, el compost obtuvo un valor alto de CIC de  $(53 \pm 2)$  cmol/kg. La CIC aumenta la reserva de nutrientes minerales y la capacidad para intercambiarlos con el medio líquido según las necesidades de las plantas, disminuyendo las pérdidas por lixiviación (Labrador, 2008).

### **Materia orgánica del suelo (MOS)**

El contenido de materia orgánica del suelo presentó un valor del  $(5,6 \pm 0,1)\%$ , se espera para suelos tropicales que dicho valor esté entre los 1 y 5%, lo cual hace que nuestro suelo tenga gran cantidad de MOS. A su vez, la alta capacidad de retención de suelo ayuda a promover la evolución de la materia orgánica puesto que, si el suelo se encuentra muy seco, los procesos se detienen hasta que vuelva a hidratarse, por lo que los ciclos de humectación y desecación del suelo influyen sobre la evolución de la materia orgánica del mismo (Rueda *et al.*, 2001). Para el compost, se presentó un valor de MOS de  $(29,2 \pm 0,3)\%$ . Según Labrador (2008), el contenido mínimo de materia orgánica que debe cumplir un compost para su aplicación en agricultura convencional es del 35%, a pesar de que el compost presentó una falta de materia orgánica, debido a su proceso de maduración, al ser agregado al suelo, hace que este

pueda considerarse apto para ser aplicado como enmienda orgánica a este tipo de suelo.

### **Carbono orgánico total (COT)**

En cuanto al contenido de carbono orgánico total se obtuvieron valores del  $(6,4 \pm 0,3)$  y  $(23,3 \pm 0,9)\%$  para el suelo y compost respectivamente. Según la Norma Técnica Colombiana (2004), un abono orgánico debe tener un valor mínimo de carbono orgánico total del 15%, lo cual reafirmamos, al igual que con la MOS, el uso efectivo de este compost como enmienda orgánica cumpliendo con lo establecido por la norma. También, es de notarse que el valor arrojado por la MOS fue mayor en relación al COT en el compost, tomando con una mayor exactitud la determinación de carbono orgánico por vía húmeda, debido a que la descomposición de los carbonatos y la pérdida de agua de las arcillas en el método de calcinación, falsearían los resultados para la MOS (Perdomo, 2007).

## **4.2. Influencia del compost sobre las propiedades físicas y fisicoquímicas en los sistemas enmendados**

Todos los valores determinados en cuanto a las propiedades físicas y fisicoquímicas para todos los sistemas se evidencian en la Tabla VII.

### **pH**

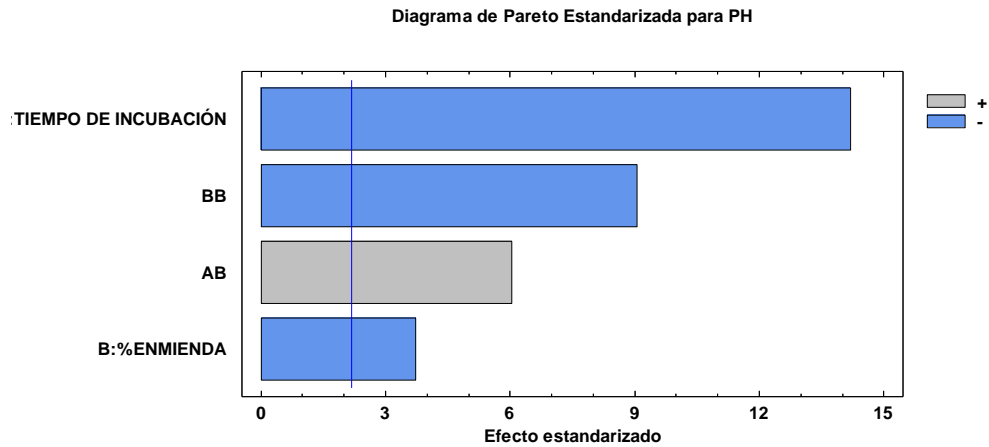
El análisis de varianza realizado para la variable respuesta pH (apéndice A.2.), nos arroja que ambos factores estudiados, tiempo de incubación (A) y contenido de

enmienda (B) ejercen un efecto significativo sobre la variable, además de las interacciones AB y BB, estos cuatro efectos tienen un p-valor < 0,05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95%. En la Figura 20, se observa gráficamente dicho efecto sobre la variable respuesta mediante el diagrama de Pareto, en el cual se representan los efectos divididos entre su error estándar, en el eje de las abscisas se coloca la magnitud de cada efecto estimado, ordenado en sentido decreciente, de este modo los efectos cuyas barras superen la línea vertical (que indica el valor crítico) serán significativos (Gutiérrez & Román de la Vara, 2008). Así, comprobamos que para el caso del pH, los efectos significativos serán A, B, AB y BB, siendo el tiempo de incubación el factor más predominante en la significancia.

**Tabla VII.** Caracterización fisicoquímica de las muestras de suelo, compost y sistemas suelo/compost estudiadas.

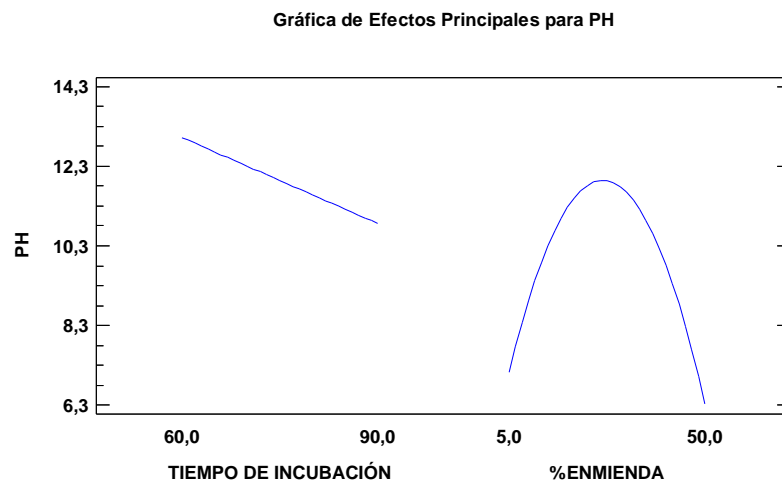
| Tiempo de Incubación (días) | Muestra           | pH 1:2      | Contenido de Humedad (%) | CE ( $\mu\text{Scm}^{-1}$ ) | CIC (cmol/kg suelo) | COT (%)    | MOS (%)    |
|-----------------------------|-------------------|-------------|--------------------------|-----------------------------|---------------------|------------|------------|
| 0                           | C <sub>P</sub>    | 6,81 ± 0,02 | 48,2 ± 0,4               | 1917 ± 10                   | 53 ± 2              | 23,3 ± 0,9 | 29,2 ± 0,3 |
|                             | S <sub>P</sub>    | 8,5 ± 0,1   | 3,1 ± 0,1                | 472 ± 11                    | 30,5 ± 0,2          | 6,4 ± 0,3  | 5,6 ± 0,1  |
| 60                          | CS5 <sub>P</sub>  | 6,92 ± 0,05 | 28,6 ± 0,4               | 767 ± 16                    | 31 ± 2              | 6,6 ± 0,4  | 5,6 ± 0,3  |
|                             | CS10 <sub>P</sub> | 8,6 ± 0,3   | 26,4 ± 0,5               | 814 ± 12                    | 32,1 ± 0,6          | 12,6 ± 0,4 | 5,2 ± 0,3  |
|                             | CS50 <sub>P</sub> | 8,7 ± 0,3   | 39 ± 1                   | 1390 ± 29                   | 35,6 ± 0,9          | 16,3 ± 0,6 | 13,8 ± 0,7 |
| 90                          | CS5 <sub>P</sub>  | 7,3 ± 0,2   | 25,0 ± 0,2               | 1029 ± 3                    | 32 ± 2              | 6,8 ± 0,9  | 4,8 ± 0,5  |
|                             | CS10 <sub>P</sub> | 6,9 ± 0,1   | 27,5 ± 0,9               | 1065 ± 9                    | 36 ± 3              | 9,1 ± 0,4  | 5,8 ± 0,5  |
|                             | CS50 <sub>P</sub> | 6,72 ± 0,04 | 42,6 ± 0,4               | 1724 ± 8                    | 37,7 ± 0,1          | 16,5 ± 0,4 | 16,5 ± 0,3 |

C, S: muestras de compost y suelo. CS5, CS10, CS50: muestras al (5, 10 y 50) % p/p de compost. Subíndices p: promedio de 3 réplicas.



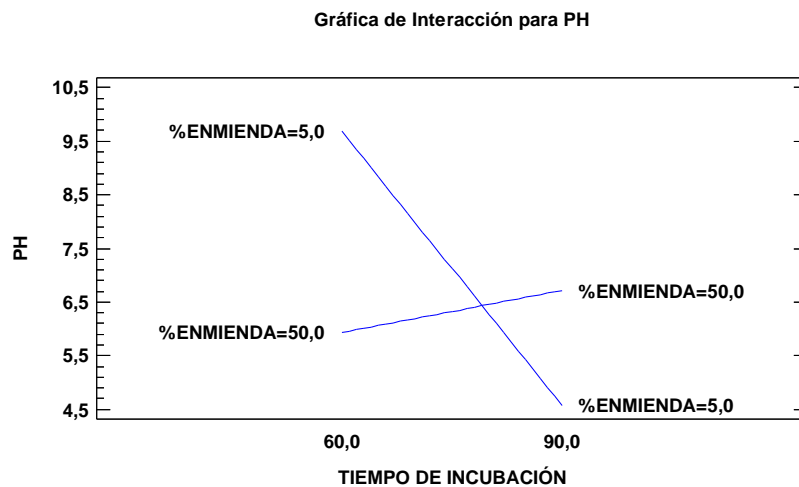
**Figura 20.** Diagrama de Pareto estandarizada para la variable respuesta pH.

Así mismo, en la Figura 21, se visualizan los efectos principales de cada factor en relación a la variable respuesta. Se nota una pendiente significativa en cuanto al tiempo de incubación, donde el nivel de mayor incidencia fue a los 90 días lo cual se comprueba puesto que a ese tiempo los valores de pH decrecen considerablemente hasta un poco por debajo del valor mínimo de pH del compost ( $6,81 \pm 0,02$ ). Por otra parte, en cuanto al contenido de enmienda, se ve un efecto de curvatura, obteniéndose un máximo al 10% de enmienda, en donde el valor de pH para la muestra CS10 fue de ( $8,6 \pm 0,3$ ) a los 60 días.



**Figura 21.** Efectos principales para la variable respuesta pH.

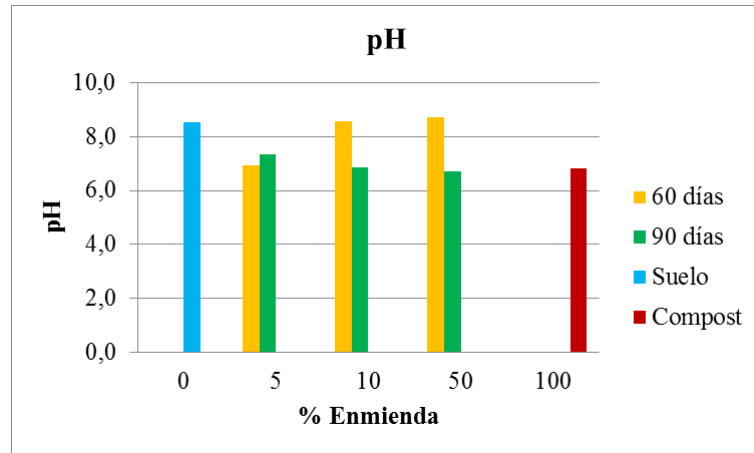
En la Figura 22, se puede ver la interacción existente entre el tiempo de incubación y el contenido de enmienda (interacción AB) obtenida para la variable respuesta, viendo que la interacción es fuerte al mayor tiempo de incubación y el mayor contenido de enmienda empleado, lo cual se ve reflejado en Tabla VII con la muestra CS50 con un valor de  $(6,72 \pm 0,04)$ .



**Figura 22.** Interacciones para la variable respuesta pH.

En la Figura 23, se observa el efecto que se obtuvo sobre el pH en los sistemas suelo/compost, viendo que a los 60 días el cambio permanece casi constante al valor arrojado por el suelo; en cambio se evidencia un efecto amortiguador para los 90 días, obteniendo los mejores valores a los mayores contenidos de enmienda. Por lo que reafirmamos que el factor que más influye en esta variable es el tiempo de incubación.

Según Rueda *et al.* (2001), el pH debe ser ligeramente ácido o neutro para aumentar la degradación del suelo, por lo que al aumentar el contenido de compost en el suelo alcalino, este se ve favorecido disminuyendo su alcalinidad y favoreciendo la degradación de la materia orgánica en el mismo.

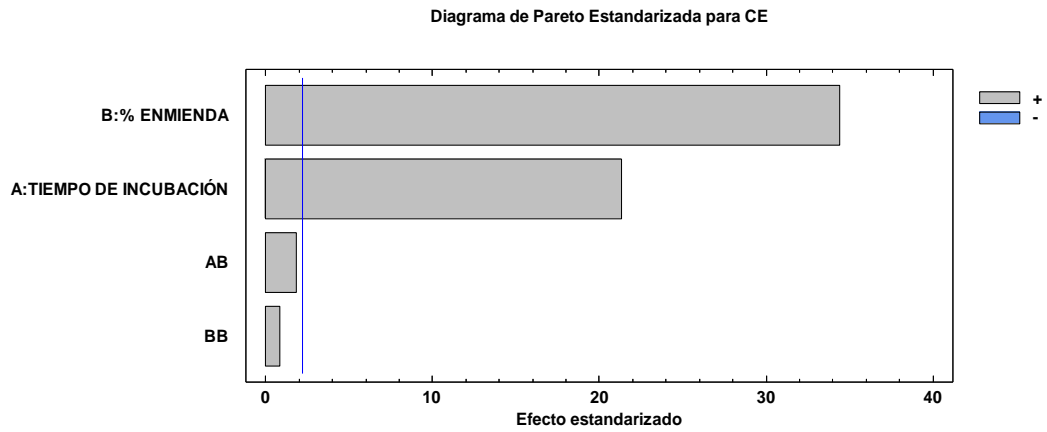


**Figura 23.** Efecto sobre el pH en los sistemas suelo/compost.

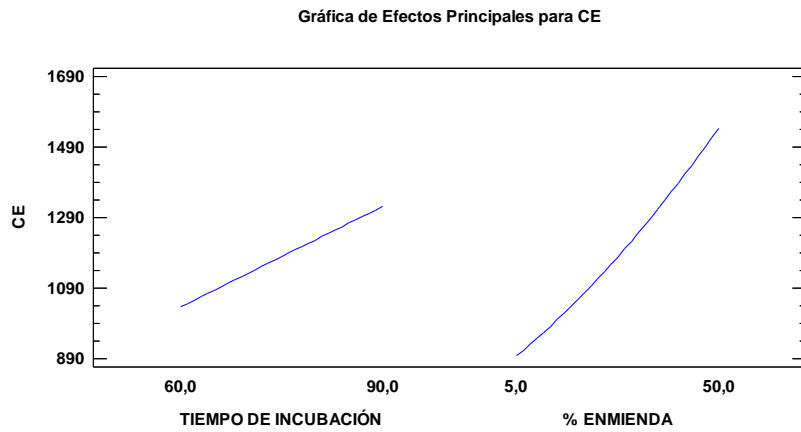
### Conductividad Eléctrica (CE)

El análisis de varianza realizado para la variable respuesta CE (apéndice A.3.), nos arroja que el factor tiempo de incubación (A) ejerce un efecto significativo sobre la variable, de igual manera que el contenido de enmienda (B) presentado p-valor < 0,05. En la Figura 24, se observa gráficamente dichos efectos sobre la variable respuesta mediante el diagrama de pareto, comprobando que para el caso de la CE el efecto más significativo fue el contenido de enmienda, y en conjunto el tiempo de incubación, lo cual indica que a mayor tiempo de incubación la conductividad eléctrica también aumenta.

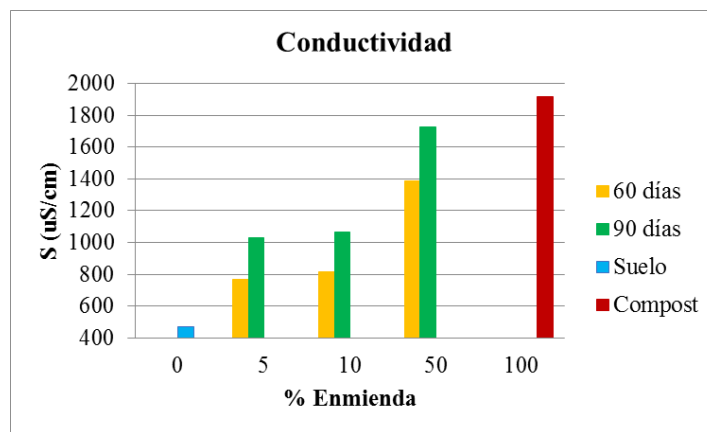
Para la CE, se encontraron valores ubicados en el intervalo  $(767-1724) \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , lo cual supone un cambio negativo en la salinidad del suelo. En la Figura 25, se nota una tendencia progresiva en ambos factores, viéndose una pendiente más pronunciada para el contenido de enmienda, lo cual es de esperarse ya que al aumentar el contenido de enmienda se está agregando las sales presentes en esta al suelo.



**Figura 24.** Diagrama de Pareto estandarizada para la variable respuesta CE.



**Figura 25.** Efectos principales para la variable respuesta CE.

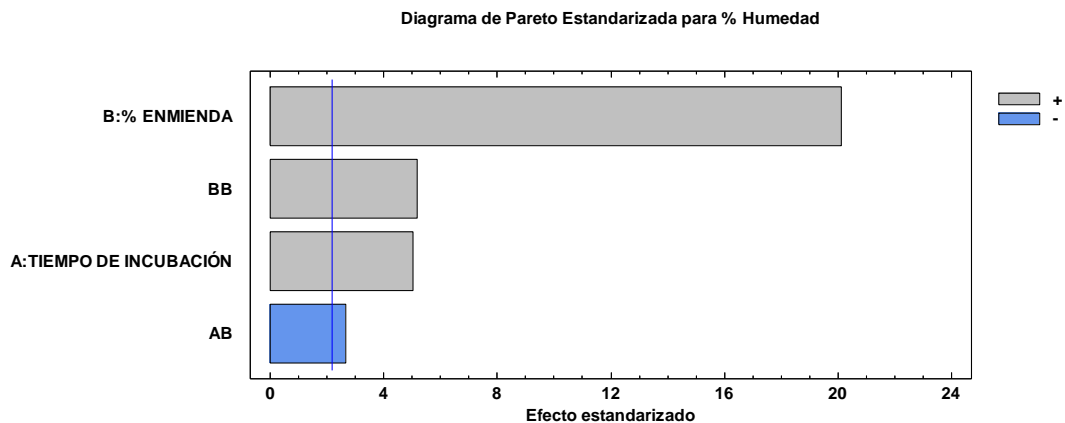


**Figura 26.** Efecto sobre la CE en los sistemas suelo/compost.

En la Figura 26 se puede ver gráficamente el efecto que se obtuvo para la CE, obteniendo la progresión de los valores de salinidad por el agregado de enmienda al suelo, de donde podemos decir que el valor recomendado obtenido es el de las muestras con menor contenido de enmienda en ambos tiempos de incubación, los cuales se mantienen en el rango recomendado.

### Contenido de Humedad

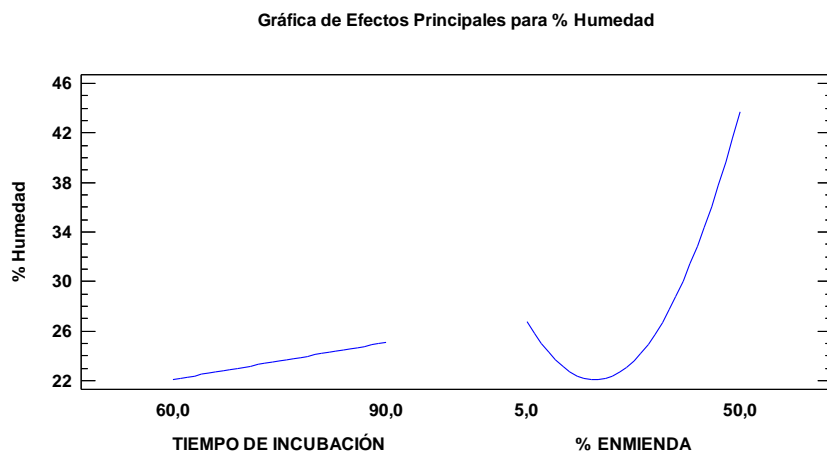
El análisis de varianza realizado para el contenido de humedad (apéndice A.4.), nos arroja que ambos factores, tiempo de incubación (A) y el contenido de enmienda (B), ejercen un efecto significativo sobre la variable, además de las interacciones AB y BB, presentado p-valor < 0,05. En la Figura 27, se observa gráficamente los efectos sobre la variable respuesta, siendo el más significativo el contenido de enmienda (de forma positiva) lo cual indica que a mayor contenido de enmienda aumenta a su vez la humedad presente en el suelo. Asimismo, el tiempo de incubación incide forma positiva, pero en menor significancia.



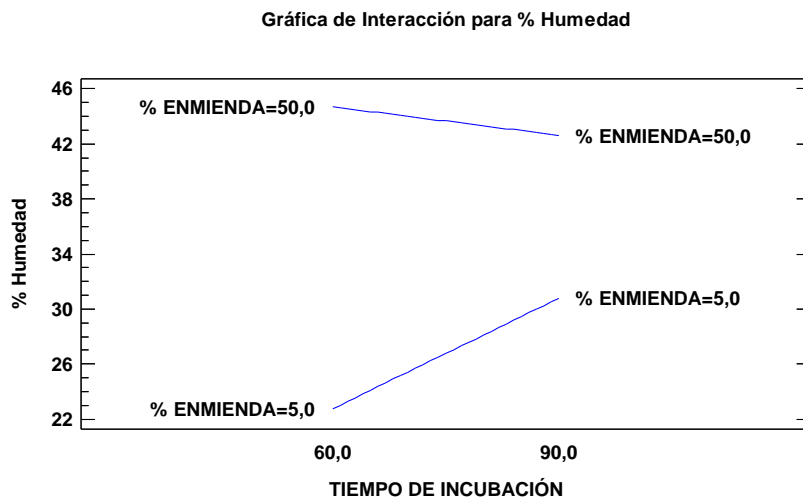
**Figura 27.** Diagrama de Pareto estandarizada para la variable respuesta % humedad.



En la Figura 28, se comprueba lo antes expuesto por el diagrama de pareto, donde se puede ver que la humedad se ve directamente afectada por la proporción de enmienda empleada para cada sistema evaluado. Según Jaramillo (2002), los abonos orgánicos sólidos deben ser adicionados al suelo con un contenido de humedad menor al 80%, viéndose que existe una mejora al cambiar el contenido de enmienda y el tiempo de incubación, en comparación al valor inicial del suelo ( $3,1 \pm 0,1$ )%.



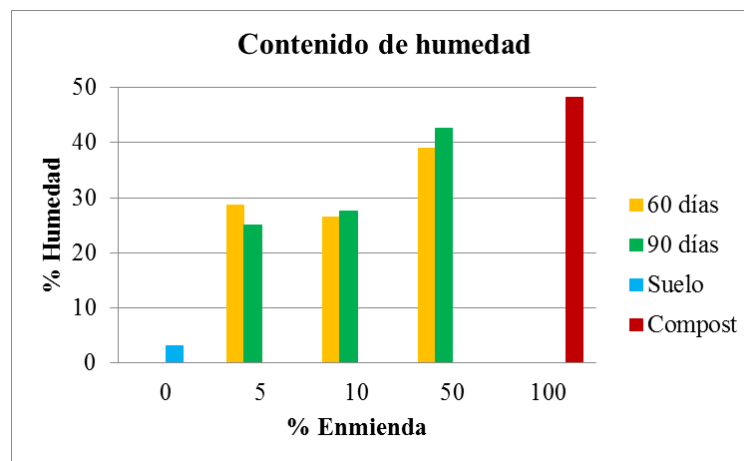
**Figura 28.** Efectos principales para la variable respuesta % humedad.



**Figura 29.** Interacciones para el contenido de humedad.

En la Figura 29, podemos confirmar que la interacción entre el tiempo de incubación y el contenido de enmienda es significativa, es decir, el comportamiento del contenido de humedad con respecto a la cantidad de enmienda depende del tiempo de incubación.

En la Figura 30, observamos como el contenido de enmienda es el factor que afecta directamente el valor de contenido de humedad obtenido, esto se confirma en la Tabla VII, ya que se evidencia que el contenido de humedad aumenta directamente con el contenido de enmienda, obteniéndose el mayor valor en la muestra CS50 con un  $(42,6 \pm 0,4)\%$  para el mayor tiempo de incubación.

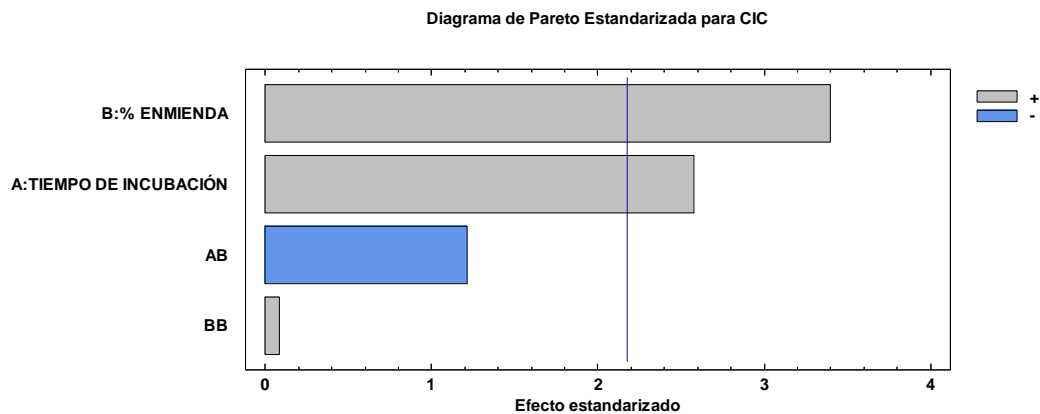


**Figura 30.** Efecto del contenido de humedad sobre los sistemas suelo/compost.

Lo anterior es corroborado por López *et al.* (2001), quienes observaron que el contenido de humedad aumenta debido a prácticas de aplicación de abonos orgánicos (estiércol o compost), ya que disminuye la densidad aparente, se incrementa la porosidad y se modifica la estructura al mejorar la formación de agregados, todo ello influye en un aumento en la retención de humedad.

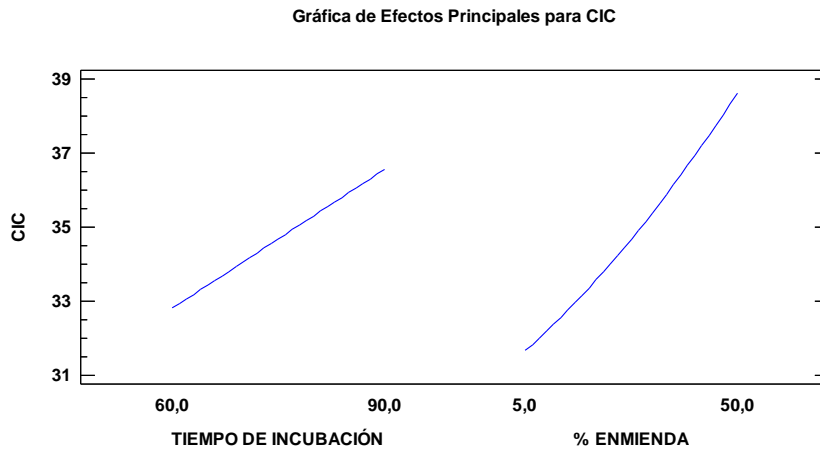
## Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)

Al aumentar el contenido de materia orgánica de un suelo, la CIC incrementa y así se reducen y hasta evitan las pérdidas por lixiviación (Jaramillo, 2002). El análisis de varianza realizado para la variable respuesta CIC (apéndice A.5.), nos arroja que ambos factores, tiempo de incubación (A) y el contenido de enmienda (B), ejercen un efecto significativo sobre la variable, presentado p-valor  $< 0,05$ . En la Figura 31, se demuestra gráficamente los efectos que tienen ambos factores sobre la variable respuesta, siendo el más significativo el contenido de enmienda, aunque ambos inciden de manera positiva en la respuesta, lo que indica que a mayor contenido de enmienda y mayor tiempo de incubación se esperan valores crecientes de la CIC.



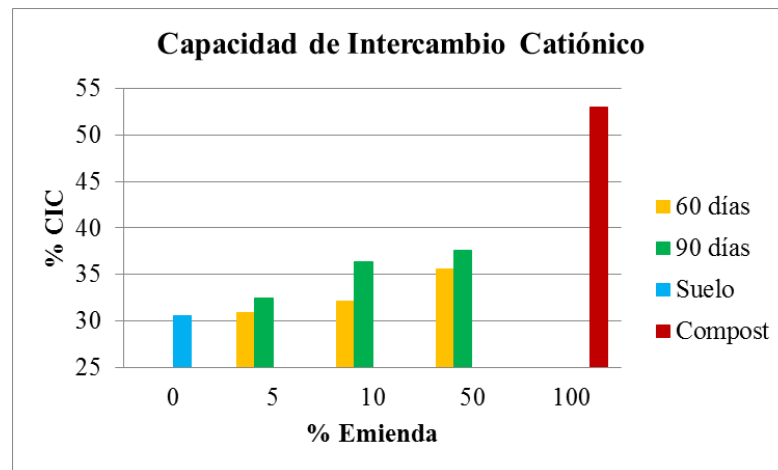
**Figura 31.** Diagrama de Pareto estandarizada para la variable respuesta CIC.

En la Figura 32, se demuestra lo antes expuesto, donde se puede ver que la CIC sufre un incremento para ambos tiempos de incubación, mejorando así las propiedades del suelo. Dicho aumento se observa entre los (10 y 50)% de enmienda, siendo éste más notable a los 90 días de incubación, en un intervalo de (36-39) cmol/kg suelo respectivamente.



**Figura 32.** Efectos principales para la variable respuesta CIC.

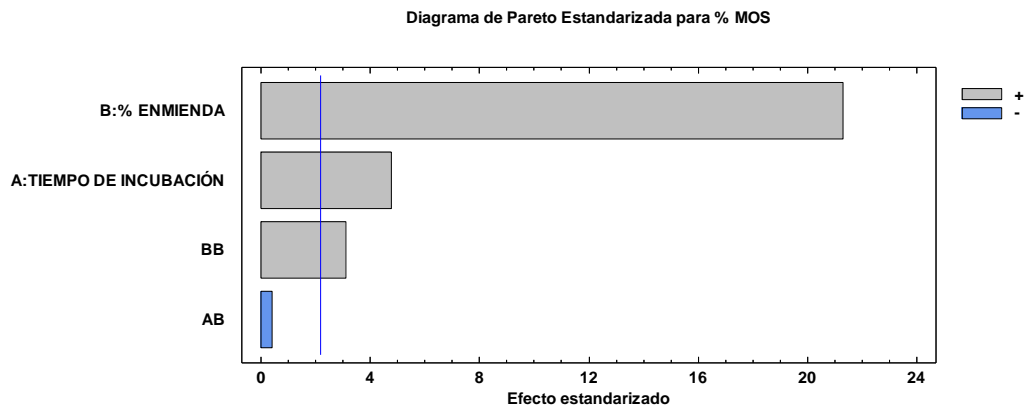
En la Figura 33, podemos visualizar mejor los efectos que tienen el tiempo de incubación y el contenido de enmienda agregado sobre la CIC. Se ratifica el aumento de la CIC siendo los mejores valores arrojados para los 90 días al mayor contenido enmienda agregado.



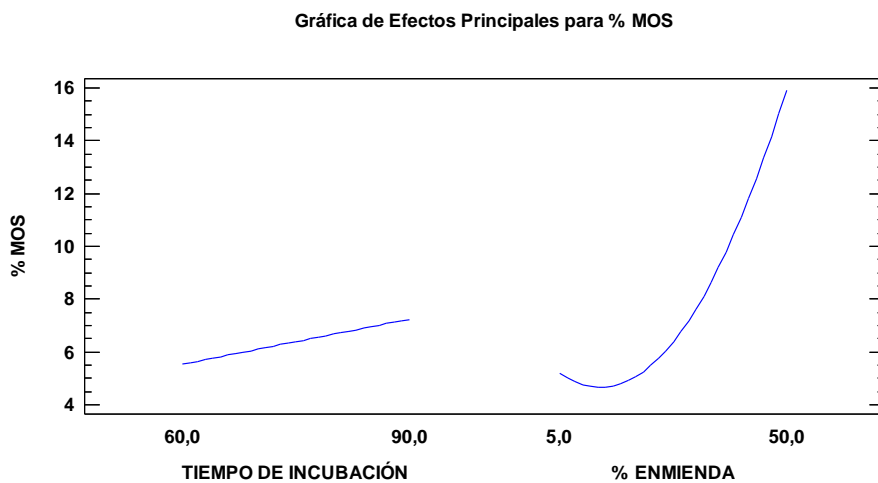
**Figura 33.** Efecto de la CIC sobre los sistemas suelo/compost.

## Materia Orgánica del Suelo (MOS)

El análisis de varianza para el porcentaje de MOS (apéndice A.6.), muestra que este se ve influenciado significativamente por los factores tiempo de incubación (A) y el contenido de enmienda (B), presentando ambos un p-valor  $< 0,05$ . En la Figura 34, se observa que el factor más influyente en la variación de la MOS es el contenido de enmienda empleado en las muestras de suelo, teniendo un efecto positivo en la misma.

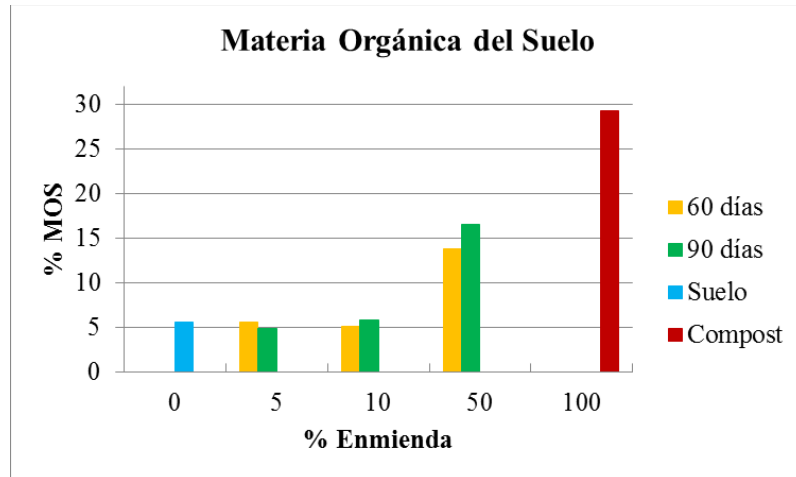


**Figura 34.** Diagrama de Pareto estandarizada para la variable respuesta MOS.



**Figura 35.** Efectos principales para la variable respuesta MOS.

En la Figura 35, se puede ver el efecto significativo que tiene tanto el tiempo de incubación como el contenido de enmienda sobre el contenido de materia orgánica. Para el contenido de enmienda se observa un efecto de curvatura, en donde existe una ligera disminución al pasar del 5% p/p y luego un alce hasta un máximo al 50 % p/p.



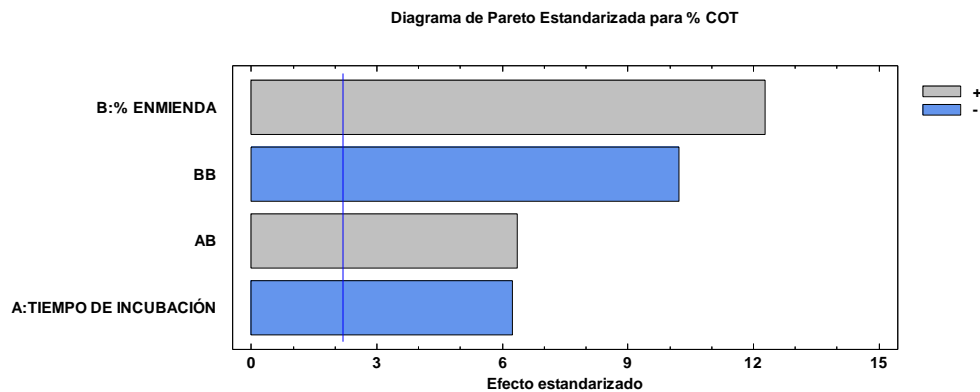
**Figura 36.** Efecto sobre la MOS en los sistemas suelo/compost.

En la Figura 36, se comprueba como aumenta la MOS a medida que se aumenta el contenido de enmienda y el tiempo de incubación, teniéndose ligeras disminuciones al pasar del 5% p/p al 10% p/p para el primer tiempo de incubación. Obteniéndose el mejor valor para la muestra CS50 a los 90 días, el cual aumentó a un  $(16,5 \pm 0,3)\%$ , entonces podemos decir que la enmienda afecta de forma positiva la materia orgánica del suelo.

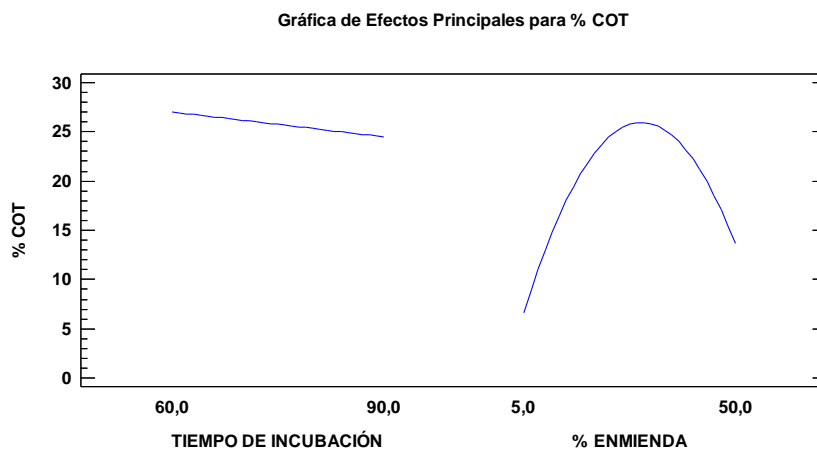
### Contenido de Carbono Orgánico Total (COT)

El análisis de varianza para el carbono orgánico total (apéndice A.7.), evidencia que todos los efectos son significativos, mostrando valores de p-valor  $< 0,05$  para ambos factores A y B y sus interacciones. En la Figura 37, se observa que el efecto

significativo del factor B (contenido de enmienda) es de manera positiva, igual que para el factor A (tiempo de incubación) aunque en menos significancia, existiendo una tendencia similar que la MOS, lo cual es de esperarse pues ambas se encuentran vinculada. Sin embargo, a diferencia de la MOS, si se obtuvieron interacciones significativas, debiéndose posiblemente al error por parte de los carbonatos contenidos en materia lo cual al ser determinados gravimétricamente por la MOS estos falsearon un poco los valores obtenidos.



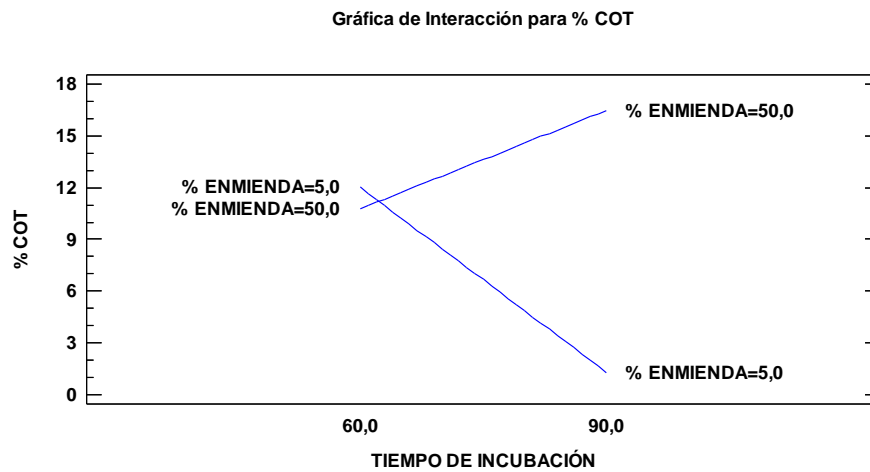
**Figura 37.** Diagrama de Pareto estandarizada para la variable respuesta COT.



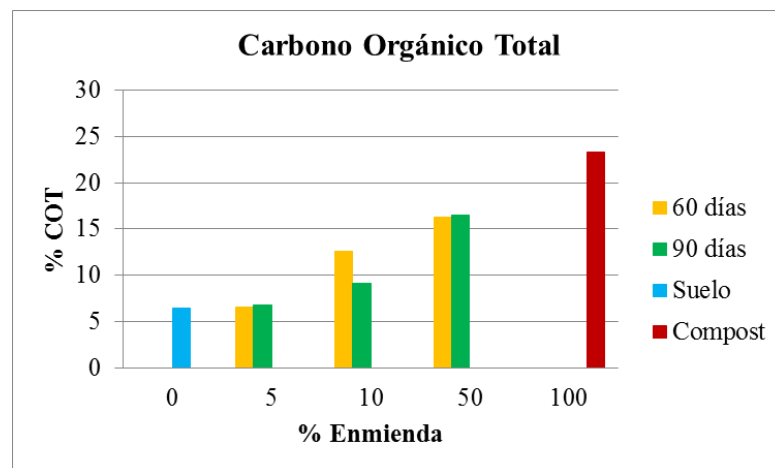
**Figura 38.** Efectos principales para la variable respuesta COT.

En la Figura 38, se evidencia los efectos principales de los factores, donde se puede notar una tendencia lineal para el tiempo de incubación, lo cual se verifica con los

resultados obtenidos en la Tabla VII, donde permanece el mismo comportamiento para ambos tiempos obteniéndose valores similares de COT. En cuanto al contenido de enmienda, un efecto de curvatura que justifica el efecto producido por la relación AB (tiempo de incubación-contenido de enmienda) el cual se evidencia al 10% de relación en donde se reduce ligeramente el valor del COT al pasar de los 60 días a los 90 días de incubación ( $12,6 \pm 0,4$ ) y ( $9,1 \pm 0,4$ )% respectivamente. En la Figura 39, observamos la fuerte interacción del contenido de enmienda con el tiempo de incubación, siendo más significativa para los 60 días.



**Figura 39.** Interacciones para el COT.



**Figura 40.** Efecto sobre el COT en los sistemas suelo/compost



Para poder observar mejor este efecto en cuanto a la interacción, en la Figura 40, observamos el aumento del COT a medida que se va agregando mayor contenido de enmienda al suelo, notándose un ligero cambio al 10% de relación al pasar de un tiempo a otro, lo cual evidencia el efecto directo que tiene el tiempo de incubación sobre el contenido de carbono orgánico total, el cual se mantiene casi constante a la última proporción suelo/enmienda.

En el estudio realizado por López *et al.* (2001), donde estudiaron diferentes abonos orgánicos y su efecto en las propiedades físicas y químicas del suelo, evidenciaron un 15,0% de incremento en la materia orgánica para todos sus tratamientos, debido que los abonos orgánicos liberan nutrimentos durante su mineralización. Comparando los valores obtenidos iniciales para el suelo ( $6,4 \pm 0,3$ ) % y el compost ( $23,3 \pm 0,9$ ) %, con los resultados obtenidos para todas las muestras incubadas podemos afirmar, al igual que López *et al.* (2001), el incremento de la materia orgánica por efecto del agregado de la enmienda al suelo.

#### **4.3. Influencia en los parámetros de humificación obtenidos en el suelo, compost y sistemas enmendados**

El contenido de carbono orgánico total determinado para todas las fracciones extraídas en las muestras de suelo, compost y los sistemas enmendados se observa en la Tabla VIII.

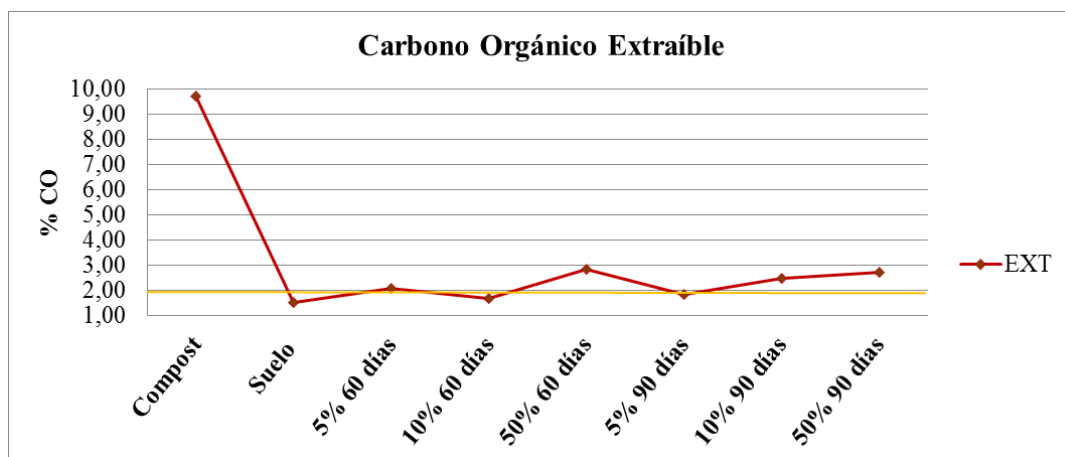
El análisis de varianza para el carbono orgánico extraíble (EXT) (apéndice A.8.), mostró efectos significativos del tiempo de incubación (A), con tenido de enmienda (B) y sus interacciones (AB y BB), sabiendo que éste varía entre un valor de ( $1,52 \pm 0,01$ ) y ( $9,73 \pm 0,01$ )%, observándose para las muestras CS50 ( $2,84 \pm 0,02$ )% a los 60 días y CS50 ( $2,7 \pm 0,2$ )% a los 90 días valores cercanos de contenido de carbono

orgánico extraíble. El comportamiento en cuanto a los valores obtenidos de carbono orgánico extraíble para cada muestra se visualizan en la Figura 41, en donde se nota que el mayor contenido extraíble fue para el compost, dado que el mismo además de tener mayor contenido de COT, obtuvo el mayor porcentaje de extracción con un  $(42 \pm 2)\%$ .

**Tabla VIII.** Carbono orgánico (CO) en las fracciones extraídas para el suelo, compost y los sistemas enmendados.

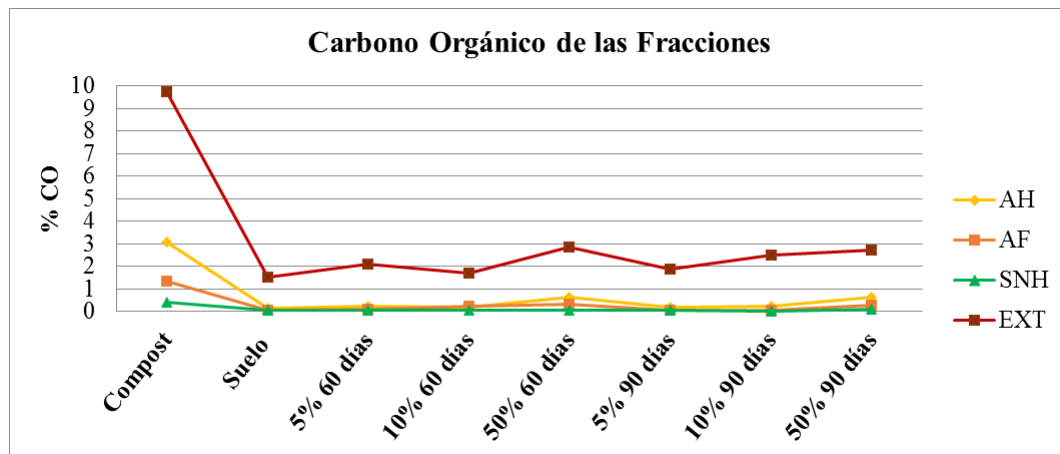
| Tiempo de Incubación | Muestra           | AH          | AF          | SNH         | EXT         | %Extracción |
|----------------------|-------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 0 días               | C <sub>P</sub>    | 3,09 ± 0,01 | 1,4 ± 0,2   | 0,42 ± 0,01 | 9,73 ± 0,01 | 42 ± 2      |
|                      | S <sub>P</sub>    | 0,16 ± 0,01 | 0,06 ± 0,01 | 0,06 ± 0,01 | 1,52 ± 0,01 | 24 ± 1      |
| 60 Días              | CS5 <sub>P</sub>  | 0,23 ± 0,03 | 0,09 ± 0,01 | 0,06 ± 0,01 | 2,1 ± 0,7   | 32 ± 2      |
|                      | CS10 <sub>P</sub> | 0,20 ± 0,01 | 0,24 ± 0,02 | 0,05 ± 0,01 | 1,67 ± 0,01 | 13 ± 1      |
|                      | CS50 <sub>P</sub> | 0,62 ± 0,02 | 0,30 ± 0,01 | 0,07 ± 0,02 | 2,84 ± 0,02 | 18 ± 1      |
| 90 Días              | CS5 <sub>P</sub>  | 0,20 ± 0,07 | 0,06 ± 0,02 | 0,05 ± 0,01 | 1,9 ± 0,2   | 28 ± 5      |
|                      | CS10 <sub>P</sub> | 0,25 ± 0,01 | 0,04 ± 0,01 | 0,03 ± 0,01 | 2,48 ± 0,01 | 27 ± 1      |
|                      | CS50 <sub>P</sub> | 0,62 ± 0,03 | 0,28 ± 0,02 | 0,08 ± 0,01 | 2,7 ± 0,2   | 17 ± 1      |

$$\% \text{Extracción} = (\text{EXT}/\text{COT}) * 100$$



**Figura 41.** Variación del carbono orgánico extraíble en las muestras de suelo, compost y sistemas enmendados.

En la Figura 42 se presenta la distribución del contenido de carbono orgánico presente en todas las fracciones extraídas, en la cual se observa un comportamiento similar para todas las fracciones exceptuando la del compost, ya que el mismo tiene el mayor contenido de COT.



**Figura 42.** Variación del carbono orgánico en las fracciones extraídas en las muestras de suelo, compost y sistemas enmendados.

Los ácidos húmicos (AH) y fúlvicos (AF) promueven la formación de agregados estables en el suelo, contribuyendo de este modo a mejorar la estructura de este medio (Waters & Oades, 1991). El análisis de varianza para los AH (apéndice A.9.), mostró que el contenido de enmienda (B) y su interacción BB fueron significativos para la fracción, por lo tanto se observa en la Tabla VIII que se obtuvieron valores en aumento entre  $(0,16 \pm 0,01)$  y  $(3,09 \pm 0,01)\%$ , teniéndose un comportamiento similar que el del carbono orgánico extraíble, el cual también fue bajo en relación al COT.

En una investigación realizada en la cuenca del río Maracay, donde se determinó el porcentaje de carbono en las fracciones orgánicas (Sánchez, 2002), se reportan valores de carbono asociado a los ácidos húmicos entre  $(0,14$  y  $0,74)\%$ , no se observan diferencias significativas entre estos valores y los obtenidos en la presente

investigación, exceptuando el compost, siendo comparables debido a que se trata de suelos geográficamente cercanos.

Con respecto a los ácidos fúlvicos, el análisis de varianza (apéndice A.10.) muestra que tanto el tiempo de incubación (A) como el contenido de enmienda (B) afectan significativamente la fracción, sabiendo que el contenido de carbono orgánico en la fracción varió entre  $(0,04 \pm 0,01)$  y  $(1,4 \pm 0,2)\%$ . Se puede observar que para las muestras de suelo, CS5, CS10, y CS50 a los 60 y 90 días de incubación se encuentran en un intervalo de  $(0,06-0,30)\%$  manteniendo el comportamiento ascendente en cada muestra, en cambio para la enmienda sola el valor obtenido fue de  $(1,4 \pm 0,2)\%$  lo cual es un valor alto comparado con las demás muestras. Es importante acotar que se visualiza el mismo comportamiento en cuanto a tendencia de los valores al igual que los obtenidos para los ácidos húmicos explicados anteriormente.

Para las sustancias no húmicas (SNH), el análisis de varianza (apéndice A.11.) no mostró efectos significativos para ninguno de los factores estudiados, siendo bajos los valores obtenidos de carbono presente. En la Tabla VIII se observa que el intervalo obtenido es de  $(0,06 \pm 0,01)$  y  $(0,42 \pm 0,01)\%$ , al igual que en los ácidos húmicos y ácidos fúlvicos, valores pequeños de carbono orgánico presente en los mismos, teniendo una similitud en los valores obtenidos por Zerpa (2012), en donde obtuvo un intervalo de  $(0,06 \pm 0,01)$  y  $(0,23 \pm 0,03)\%$ . También se observa de manera general que las SNH en las muestras estudiadas se encuentran en menor proporción a la de los AF, favoreciendo así el proceso de humificación y no el de mineralización.

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 (AH/AF), los valores obtenidos se observan en la Tabla IX.

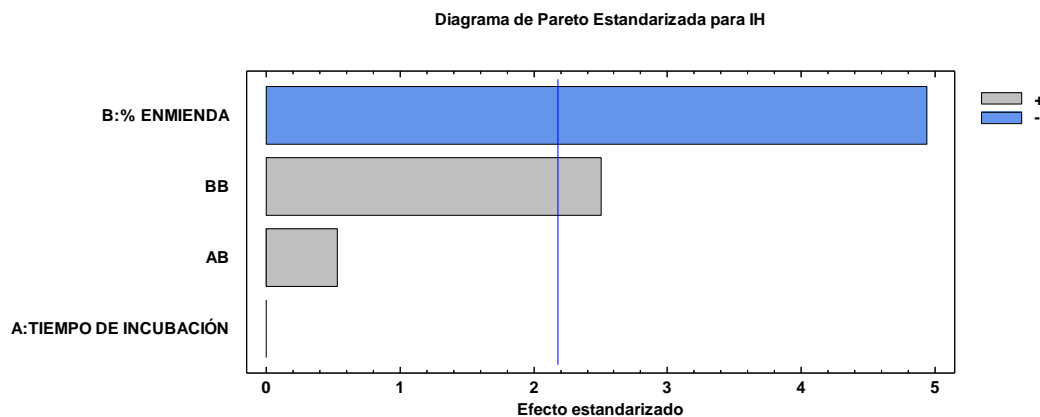
**Tabla IX.** Parámetros de humificación determinados para el suelo, compost y los sistemas enmendados.

| Tiempo de Incubación | Muestra           | Parámetros Promedio |              |             |             |
|----------------------|-------------------|---------------------|--------------|-------------|-------------|
|                      |                   | IH                  | GH           | RH          | R (AH/AF)   |
| 0 días               | C <sub>P</sub>    | 0,10 ± 0,01         | 46 ± 2       | 19,2 ± 0,6  | 2,3 ± 0,3   |
|                      | S <sub>P</sub>    | 0,22 ± 0,01         | 14,78 ± 0,02 | 3,55 ± 0,02 | 2,55 ± 0,06 |
| 60 Días              | CS5 <sub>P</sub>  | 0,19 ± 0,01         | 14,9 ± 0,3   | 4,8 ± 0,3   | 2,60 ± 0,05 |
|                      | CS10 <sub>P</sub> | 0,11 ± 0,01         | 26 ± 1       | 3,5 ± 0,2   | 0,84 ± 0,04 |
|                      | CS50 <sub>P</sub> | 0,07 ± 0,02         | 32,4 ± 0,8   | 5,7 ± 0,3   | 2,03 ± 0,03 |
| 90 Días              | CS5 <sub>P</sub>  | 0,19 ± 0,04         | 14 ± 3       | 3,9 ± 0,5   | 3,7 ± 2     |
|                      | CS10 <sub>P</sub> | 0,10 ± 0,01         | 11,43 ± 0,02 | 4,1 ± 0,4   | 7,2 ± 0,3   |
|                      | CS50 <sub>P</sub> | 0,08 ± 0,01         | 33,2 ± 0,5   | 5,5 ± 0,2   | 2,23 ± 0,02 |

Todos los resultados discutidos a continuación se tomaron de acuerdo al diseño de experimentos empleado para el análisis de los parámetros fisicoquímicos y el contenido de carbono orgánico total y materia orgánica del suelo antes expuesto.

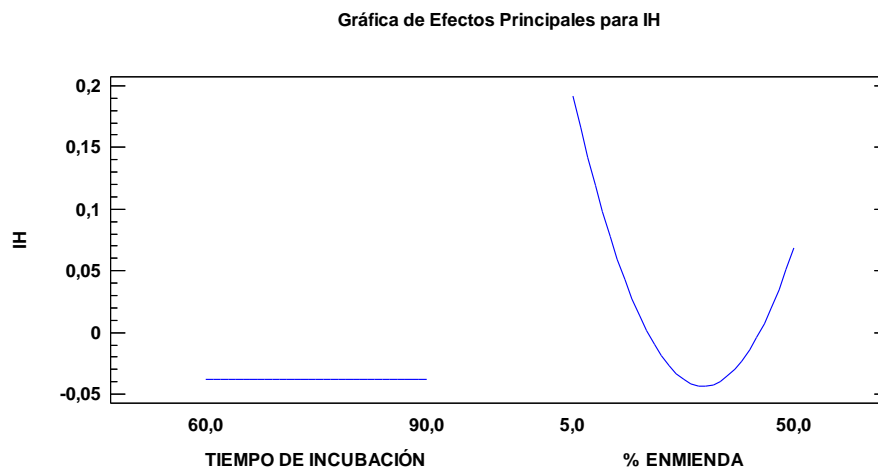
### Índice de humificación (IH)

El análisis de varianza para la el parámetro IH (apéndice A.12.), mostró que el contenido de enmienda (B) y su interacción BB fueron significativos para dicha variable. El índice de humificación (IH), se considera como una valor útil en la determinación de los altos contenidos de material humificado o en su defecto si predomina la materia no humificada en muestras de suelo o enmienda (Sequi *et al.*, 1986). En la Figura 43, se evidencia un efecto negativo y significativo para el contenido de enmienda, lo cual predice que el índice de humificación debe disminuir su valor a medida que el agregado de enmienda es mayor.



**Figura 43.** Diagrama de Pareto estandarizada para el parámetro IH.

El IH decrece durante el proceso de compostaje y es menor que uno, cuando la materia orgánica se estabiliza (Ciavatta *et al.*, 1991). Para este parámetro se observó un intervalo entre  $(0,07 \pm 0,02)$  y  $(0,22 \pm 0,01)$ , en general se puede decir que en las muestras estudiadas predomina un material humificado estabilizado.



**Figura 44.** Efectos principales para el parámetro IH.

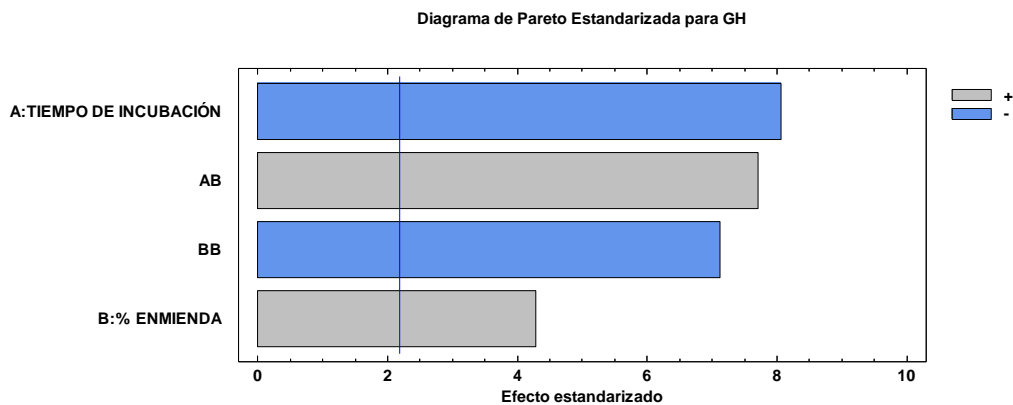
En la Figura 44, se evidencia el efecto negativo del contenido de enmienda para el IH, se nota a su vez un efecto de curvatura dado que su interacción con ella misma es

también significativa. El comportamiento de los valores obtenidos para el índice de humificación, confirman que éste se ve inversamente relacionado con la cantidad de enmienda empleada, esto es de esperarse dado que la enmienda (compost) obtuvo el menor valor de índice. En el estudio realizado por Armado *et al.*, (2009), obtuvieron valores para el índice de humificación ente  $(0,6\pm 0,2)$  y  $(1,3\pm 0,5)$ , mostrando diferencias significativas con los resultados obtenidos de la presente investigación indicando que los suelos tienen un grado de evolución diferente siendo de diferentes zonas del país.

### **Grado de Humificación (GH)**

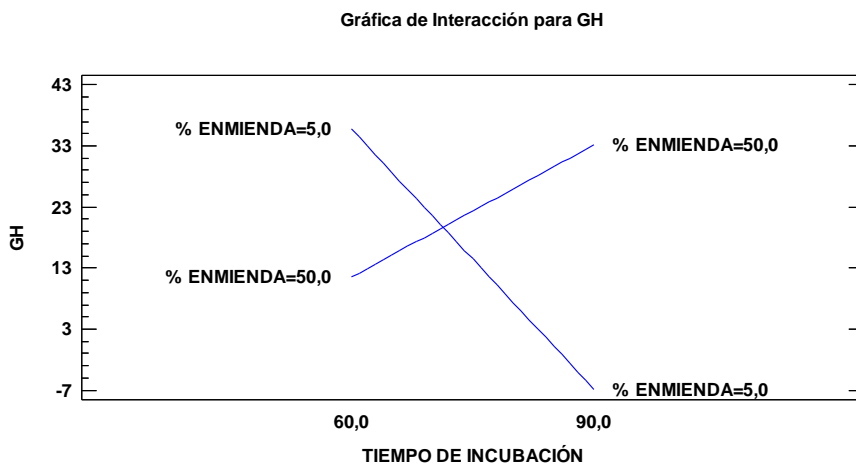
Los valores de grado de humificación (GH), el cual indica la relación existente entre la sumatoria del contenido de AH y AF referente a la cantidad de EXT, en las muestras estudiadas variaron entre  $(11,43 \pm 0,02)$  y  $(46 \pm 2)\%$ . El análisis de varianza para dicho parámetro (apéndice A.13.), mostró un efecto significativo para ambos factores tiempo de incubación (A) y % enmienda (B), así como también sus interacciones AB y BB, presentando valores p-valor  $< 0,05$ . En la Figura 45, se demuestra esta significancia para ambos factores, teniendo un efecto positivo en cuanto al contenido de enmienda, pero unos efectos negativos en cuanto al tiempo de incubación y la interacción BB.

En la Figura 46 se puede observar las interacciones para el parámetro GH, confirmando que la interacción tiempo de incubación-contenido de enmienda (AB) es significativa, evidenciando que existe un efecto negativo en cuanto al tiempo de incubación sobre el grado de humificación, pero lo importante aquí es efecto que tiene el contenido de enmienda sobre el parámetro, teniendo un punto máximo al 10% de enmienda.



**Figura 45.** Diagrama de Pareto estandarizada para el parámetro GH.

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 obtuvieron valores bajos, lo que indica que el proceso de maduración de las muestras aún no ha finalizado (Ciavatta *et al.*, 1991). Esto es contradictorio, puesto que para el IH se obtuvieron valores bajos que indican material estabilizado. No obstante la extracción de carbono orgánico no fue eficiente para estas muestras, lo cual supondría la obtención de este comportamiento.

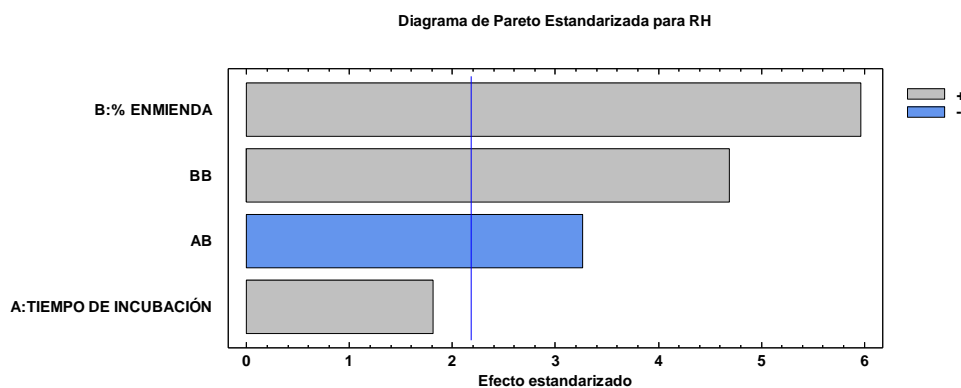


**Figura 46.** Interacciones para el parámetro GH.



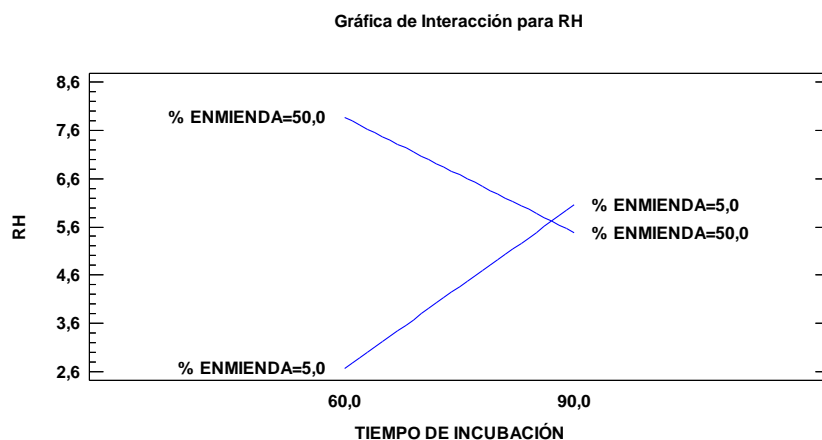
## Razón de Humificación (RH)

El análisis de varianza para este parámetro (apéndice A.14.), arrojo valores de p-valor  $< 0,05$  para el factor de contenido de enmienda y sus interacciones AB y BB, aunque el factor tiempo de incubación (A) no obtuvo por si solo un efecto significativo sobre el parámetro. La Figura 47, comprueba que solo el contenido de enmienda tiene un efecto positivo sobre el parámetro (RH), y que solo la interacción AB (tiempo de incubación-contenido de enmienda) obtuvo un efecto significativo de forma negativa, lo cual supone que a medida que aumenta la cantidad de enmienda debe aumentar la razón de humificación.



**Figura 47.** Diagrama de Pareto estandarizada para el parámetro RH.

En la Figura 48, se evidencia el efecto significativo de la interacción AB, notándose que la mayor significancia la obtiene al mayor tiempo de incubación. 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  $(3,5 \pm 0,2)$  y  $(19,2 \pm 0,6)\%$ , estos valores pueden deberse a que el material extraíble de estas muestras fue muy poco respecto al carbono orgánico total.



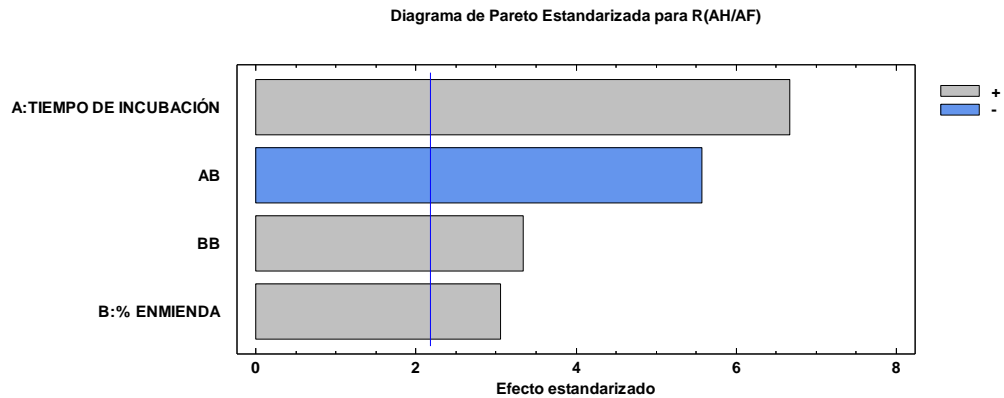
**Figura 48.** Efectos principales para el parámetro RH.

En materiales fuertemente humificados como la leonardita, la RH es mayor al 80% y en la mayoría de los suelos y ciertas enmiendas orgánicas este valor es bajo (Ciavatta *et al.*, 1991). Los resultados obtenidos por Armado *et al.* (2009), refleja que los valores de RH en los suelos de SJ (San Juan de Lagunillas) son muy bajos, ya que el material extraíble fue muy poco respecto al carbono orgánico total presente en el suelo, de igual forma que en nuestro caso. En su investigación se indicó que para los suelos del tipo arcilloso o franco-arcilloso la RH no proporciona valores adecuados, ya que la extracción de carbono orgánico no es muy eficiente, con el procedimiento empleado.

#### **Relación de ácidos húmicos y ácidos fúlvicos [R(AH/AF)]**

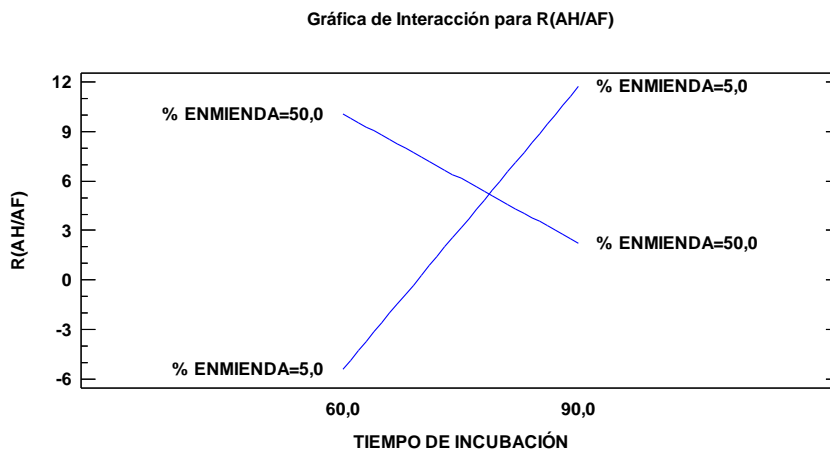
El análisis de varianza para el parámetro que relaciona los ácidos húmicos y fúlvicos (apéndice A.15), mostró valores significativos de p-valor < 0,05 para ambos factores tiempo de incubación y contenido de enmienda, así como también para sus interacciones AB y BB. En la Figura 49 se representan los efectos significativos de ambos factores, notándose efectos positivos para ambos casos exceptuando su

interacción AB (tiempo de incubación-contenido de enmienda) el cual presentó una significación de forma negativa.



**Figura 49.** Diagrama de Pareto estandarizada para la relación R(AH/AF).

La Figura 50, se demuestra el efecto significativo de la interacción AB, observándose en la Tabla IX que la tendencia del comportamiento cambia con el tiempo de incubación, y por eso existe dicha interacción.



**Figura 50.** Efectos principales para la relación R(AH/AF).

Para el caso de la relación R(AH/AF) se observa en la Tabla IX, que para casi todas las muestras se obtuvo un valor mayor a la unidad. Brito, (1975) reportó que los suelos más evolucionados tienen una relación R(AH/AF) mayor a la unidad, en nuestro caso se obtuvieron valores mayores de la unidad, siendo muestras más evolucionadas, en las cuales se obtuvo mayor cantidad de ácidos húmicos que ácidos fúlvicos.

#### **4.4. Evaluación de la fitotoxicidad en los sistemas enmendados**

Para evidenciar el efecto fitotóxico de la enmienda empleada, se evaluaron los parámetros biométricos mediante el bioensayo de crecimiento en plántulas de tomate "*Solanum Lycopersicum L.*", y así poder expresar la calidad del uso de dicha enmienda. En la Tabla X se presentan los valores arrojados de los parámetros biométricos para las muestras de suelo, compost y sistemas enmendados a los distintos tiempos de incubación.

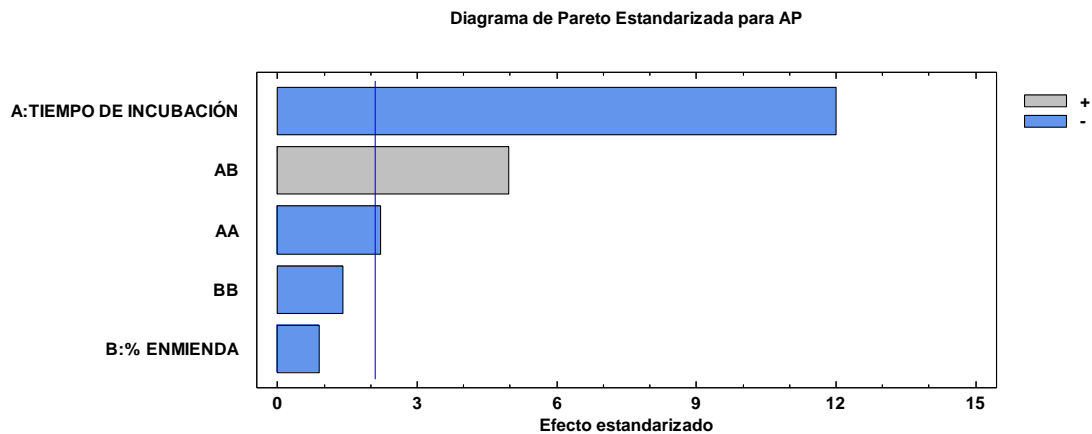
##### **Altura de la plántula (AP)**

El análisis de varianza para el parámetro AP (apéndice A.16.), muestra como este se ve afectado significativamente por el tiempo de incubación, a la vez de sus interacciones AA y AB. En la Figura 51, se evidencia el comportamiento negativo del tiempo de incubación sobre la variable, en cambio se obtuvo un efecto positivo para su interacción con el contenido de enmienda empleado. Lo cual supone que a medida que el tiempo de incubación aumenta, esto afecta negativamente el crecimiento de la plántula.

**Tabla X.** Parámetros biométricos determinados para el suelo, compost y los sistemas enmendados.

| Tiempo de Incubación | Muestra           | Parámetros de Germinación |           |        |
|----------------------|-------------------|---------------------------|-----------|--------|
|                      |                   | AP (cm)                   | DT (mm)   | MS (%) |
| 0 días               | C <sub>P</sub>    | 13,3 ± 0,4                | 2,5 ± 0,1 | 76 ± 8 |
|                      | S <sub>P</sub>    | 18 ± 2                    | 2,5 ± 0,5 | 87 ± 9 |
|                      | CS5 <sub>P</sub>  | 18,6 ± 0,3                | 3,2 ± 0,3 | 89 ± 6 |
|                      | CS10 <sub>P</sub> | 17 ± 1                    | 2,4 ± 0,4 | 87 ± 6 |
|                      | CS50 <sub>P</sub> | 13 ± 4                    | 1,9 ± 0,1 | 82 ± 6 |
| 60 días              | CS5 <sub>P</sub>  | 10 ± 2                    | 2,1 ± 0,1 | 58 ± 4 |
|                      | CS10 <sub>P</sub> | 11,9 ± 0,6                | 1,8 ± 0,2 | 79 ± 9 |
|                      | CS50 <sub>P</sub> | 11 ± 2                    | 1,6 ± 0,2 | 52 ± 4 |
| 90 días              | CS5 <sub>P</sub>  | 3,8 ± 0,8                 | 1,0 ± 0,1 | 82 ± 4 |
|                      | CS10 <sub>P</sub> | 6,9 ± 0,4                 | 1,2 ± 0,2 | 77 ± 6 |
|                      | CS50 <sub>P</sub> | 8,2 ± 0,3                 | 1,2 ± 0,3 | 60 ± 1 |

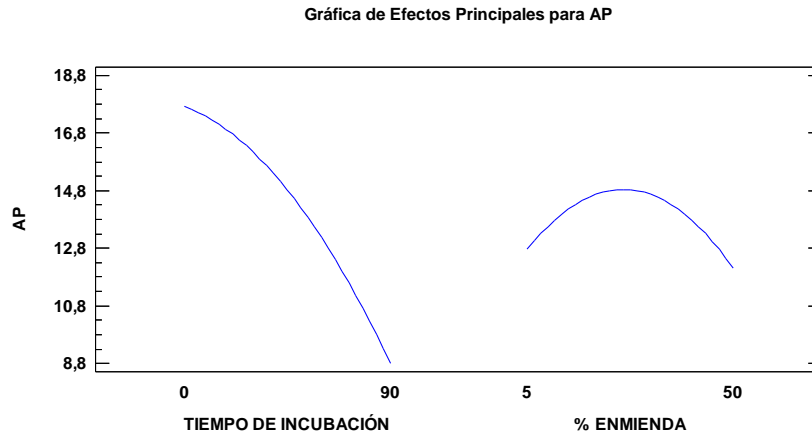
AP: Altura de la planta, DT: Diámetro del tallo, MS: Materia Seca.



**Figura 51.** Diagrama de Pareto estandarizada para el parámetro AP.

Para una mejor visualización de dichos efectos, en la Figura 52, se muestra la pendiente negativa en el tiempo de incubación, sabiendo que los menores valores de la variable se obtuvieron en los tratamientos de CS5, CS10 y CS50 a los 90 días de incubación con (3,8 ± 0,8), (6,9 ± 0,4) y (8,2 ± 0,3) cm respectivamente. La mayor

altura se registró en el tratamiento de CS5 a los 0 días de incubación con  $(18,6 \pm 0,3)$  cm y, posiblemente se debió a que en los tratamientos a los 90 días de incubación se registraron mayores valores de CE  $(1029-1724) \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ .

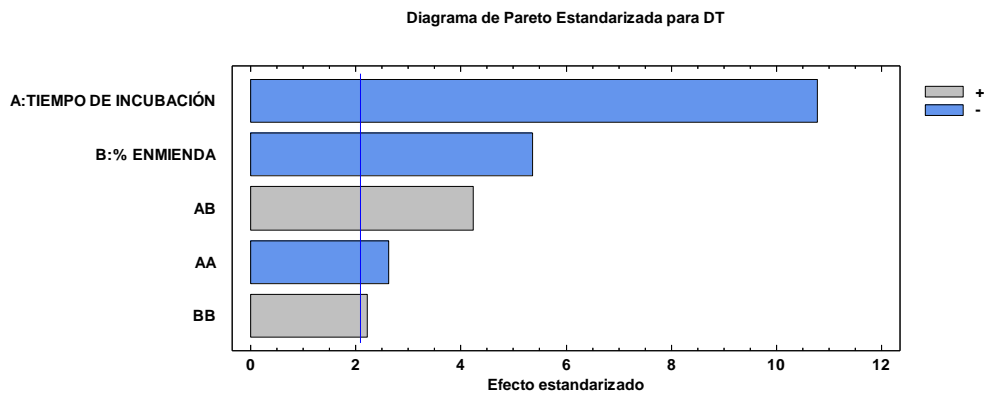


**Figura 52.** Efectos principales para el parámetro AP.

Aunque el cultivo del tomate es medianamente tolerante a la salinidad del suelo, y puede crecer entre  $700$  y  $1600 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  (Hoffman & Shanno, 2007), es probable que la conductividad de  $1720 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  que mostró las altas proporciones de la enmienda con CS50 a los 90 días de incubación afectaran al cultivo, ya que como lo indica Hoffman & Shanno (2007) el umbral de tolerancia es de  $1600 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  donde registra un descenso del rendimiento del 9%.

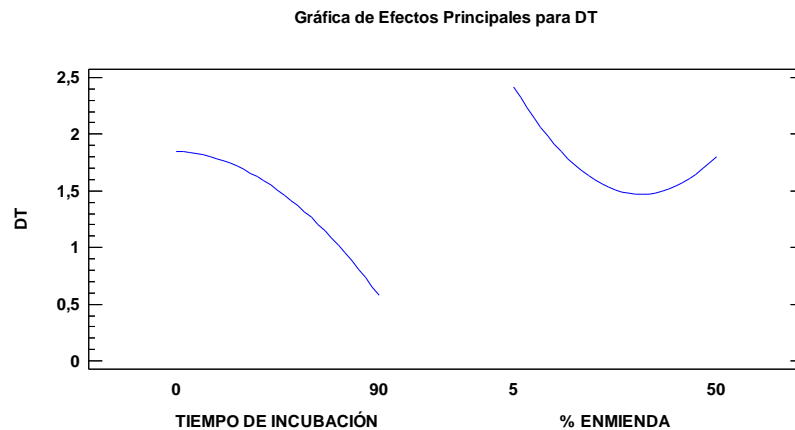
### Diámetro del tallo (DT)

El análisis de varianza del parámetro DT (apéndice A.17.), demostró la incidencia significativa de ambos factores, así como también para sus interacciones AA, AB y BB lo cual supone un efecto de curvatura en los datos. En la Figura 53, se evidencia el efecto negativo de los factores a la variable respuesta, disminuyendo al comparar los efectos de las interacciones.



**Figura 53.** Diagrama de Pareto estandarizada para el parámetro DT.

El diámetro de tallo nos permite evaluar la respuesta vegetativa de las plantas de tomate en los diferentes sustratos (Picón, 2013). En la Figura 54, se expresa el comportamiento de los valores obtenidos para el diámetro del tallo en función del tiempo de incubación y el contenido de enmienda empleado, viendo la pendiente negativa para el tiempo de incubación.



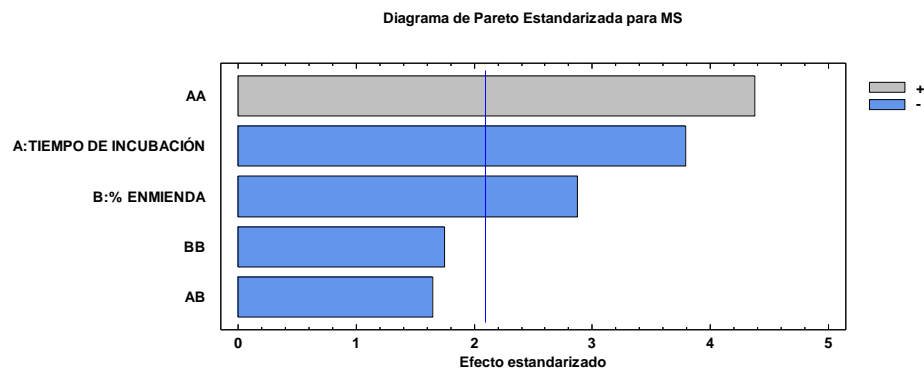
**Figura 54.** Efectos principales para el parámetro DT.

De igual manera que para la altura de la planta, se observa un comportamiento similar al explicado anteriormente, por lo cual el mayor valor obtenido fue para la muestra CS5% a los 0 días de incubación. Los valores menores para el diámetro se registraron

para las muestras CS5, CS10, CS50 a los 90 días de incubación, lo cual se ve afectado por el alto contenido de sales debido a la CE obtenida en dichos sistemas.

### Materia Seca (MS)

El análisis de varianza del parámetro MS (apéndice A.18.), muestra que se encontraron diferencias significativas para ambos factores tiempo de incubación y contenido de enmienda, además de la interacción AA (tiempo de incubación-tiempo de incubación). En la Figura 55, se evidencia que el efecto predominante es el tiempo de incubación en donde el efecto positivo viene dado por su interacción AA, en cuanto al contenido de enmienda es de acortar que su efecto es negativo.

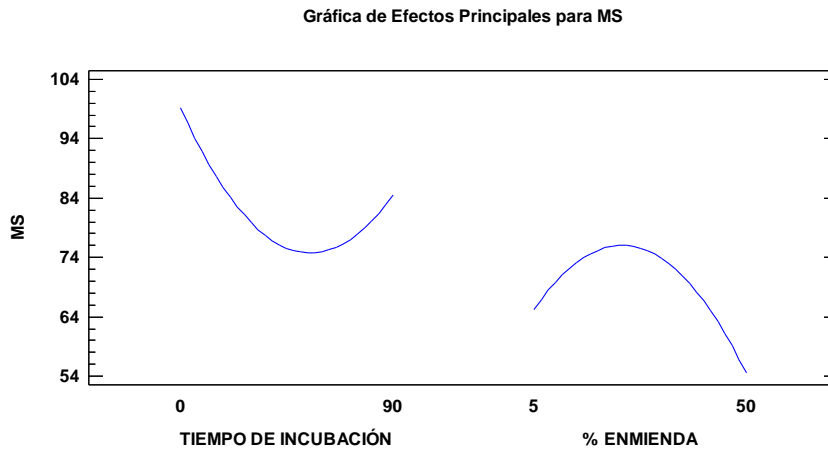


**Figura 55.** Diagrama de Pareto estandarizada para el parámetro MS.

En cuanto a la materia seca de la plántula, en la Figura 56 se demuestra el efecto de curvatura de los factores sobre la variable bajo estudio, viéndose un declive del tiempo de incubación a los 60 días. Por otro lado, el contenido de enmienda se ve un máximo obtenido al 10% de relación empleado. Todo esto justifica el comportamiento para los 60 días de incubación, viéndose un aumento radical en la



muestra CS10 con un valor de  $(79 \pm 9)\%$  seguido de una disminución a los CS50 con un valor de  $(52 \pm 4)\%$  en el mismo tiempo de incubación.



**Figura 56.** Efectos principales para el parámetro MS.

De todos los parámetros expresados anteriormente se puede concluir que existe cierto efecto fitotóxico por parte del compost al ser empleado como enmienda en este tipo de suelos, no obstante, es de notar que el empleo del compost como sustrato (100% enmienda), no se ve un efecto negativo en la plántula, por lo que se puede decir que el efecto negativo es resultado del tiempo de incubación de los sistemas.

Además, queda expresado de igual manera que para los anteriores parámetros la muestra donde se ve mayormente favorecida la plántula es en la muestra CS5 a los 0 días de incubación con los valores de altura  $(18,6 \pm 0,3)$  cm, diámetro  $(3,2 \pm 0,3)$  mm y materia seca  $(89 \pm 6)\%$  respectivamente.

## Porcentaje de Germinación

Al momento de la elaboración del bioensayo con las plántulas de tomate, se tuvo un seguimiento del número de semillas totales germinadas (apéndice A.19.), con el objeto de determinar el porcentaje de germinación (%G) en los sistemas estudiados. Los valores obtenidos para el porcentaje de germinación se muestran en la Tabla XI.

Se realizó un análisis de varianza para el porcentaje de germinación (apéndice A.20.), que muestra que tanto el tiempo de incubación como el contenido de enmienda afectaron de manera negativa la germinación de la planta. Por otra parte, el empleo de la enmienda como sustrato (enmienda al 100%) no muestra valores desfavorables, sino más bien un valor alto y efectivo, de igual manera que lo muestra el suelo como sustrato (enmienda 0%), por lo que no se puede establecer un efecto de fitotóxicidad vinculado al uso del compost.

**Tabla XI.** Porcentaje de germinación para el suelo, compost y los sistemas enmendados a diferentes tiempos de incubación.

| Incubación | Tratamiento | Porcentaje de Germinación (%G) |       |       |       |        |        |
|------------|-------------|--------------------------------|-------|-------|-------|--------|--------|
|            |             | Día 0                          | Día 4 | Día 6 | Día 8 | Día 10 | Día 12 |
| 0 Días     | Compost     | 0,00                           | 16,67 | 83,33 | 91,67 | 91,67  | 91,67  |
|            | Suelo       | 0,00                           | 10,00 | 30,00 | 90,00 | 90,00  | 90,00  |
|            | CS5         | 0,00                           | 18,75 | 37,50 | 93,75 | 93,75  | 93,75  |
|            | CS10        | 0,00                           | 13,33 | 26,67 | 80,00 | 80,00  | 80,00  |
|            | CS50        | 0,00                           | 20,00 | 60,00 | 70,00 | 70,00  | 70,00  |
| 60 Días    | CS5         | 0,00                           | 33,33 | 33,33 | 50,00 | 66,67  | 66,67  |
|            | CS10        | 0,00                           | 0,00  | 0,00  | 33,33 | 50,00  | 50,00  |
|            | CS50        | 0,00                           | 0,00  | 0,00  | 33,33 | 50,00  | 50,00  |
| 90 Días    | CS5         | 0,00                           | 33,33 | 33,33 | 33,33 | 33,33  | 50,00  |
|            | CS10        | 0,00                           | 33,33 | 33,33 | 50,00 | 50,00  | 50,00  |
|            | CS50        | 0,00                           | 33,33 | 33,33 | 50,00 | 50,00  | 50,00  |

%G= (semillas germinadas/semillas sembradas) [apéndice A.14.]

Para comprender cuál fue la causa en el retraso de la germinación, es necesario analizar la caracterización de los tratamientos evaluados, principalmente la conductividad eléctrica, dado que el efecto más común si existe acumulación de sales es un retraso general en la germinación y crecimiento de la planta (Picón, 2013). En el estudio realizado por (Hernández, 2011), se vieron diferencias significativas para la altura de la plántula, donde registraron la mayor altura en el tratamiento de 3% vermicompost con  $(19 \pm 1)$  cm, lo cual es comparable en nuestro caso puesto que el mayor valor también fue obtenido a un tratamiento de enmienda bajo (5%). A su vez, en dicha investigación obtuvieron valores menores de altura donde se registraron los mayores contenidos de  $\text{Na}^+$  que condujeron a tener el mayor contenido de CE, bajando así su rendimiento, lo cual se justifica también para nuestros tratamientos.

Sin embargo, sabiendo que los resultados de compost como sustrato no fueron desfavorables en su totalidad, podemos concluir que este efecto fitotóxico en las plantas pudo verse influenciado por el mal proceso de humificación de las muestras lo cual es directamente afectado por el tiempo de degradación de las mismas, por lo cual se recomienda el uso del compost como sustrato, o directamente al suelo sin un tiempo de incubación previo.

#### **4.5. Correlación entre los parámetros de humificación y los parámetros biométricos de germinación**

Para establecer el tipo de correlación a emplear se realizó una evaluación del ajuste de distribución normal de todos los parámetros bajo estudio (apéndices A.21.a-g), evidenciando que para los parámetros húmicos (apéndices A.21.c y A.21.d), la RH y la  $R(\text{AH}/\text{AF})$  respectivamente, no cumplen con dicha probabilidad normal, esto se evaluó a partir de los valores de sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada, las cuales pueden utilizarse para determinar si la muestra proviene de una distribución

normal. Valores de estos estadísticos fuera del rango de -2 a +2 indican desviaciones significativas de la normalidad, lo que tendería a invalidar cualquier prueba estadística con referencia a la desviación estándar.

Dado que no todos los parámetros se ajustan a una distribución normal de los datos, se decidió emplear un análisis de correlación no paramétrico, como lo es la correlación ordinal de Spearman para realizar dicha correlación entre los parámetros bajo estudio. En la Tabla XII se muestran los resultados obtenidos al evaluar la correlación ordinal de Spearman de los parámetros de humificación, y los parámetros biométricos de germinación obtenidos para cada sistema estudiado.

**Tabla XII.** Correlación entre los parámetros húmicos y de germinación en los sistemas enmendados.

|          | IH     | GH     | RH     | R(AH/AF) | AP     | DT     | MS     |
|----------|--------|--------|--------|----------|--------|--------|--------|
| IH       |        | 0,0016 | 0,0017 | 0,2722   | 0,7949 | 0,3250 | 0,0164 |
| GH       | 0,0016 |        | 0,0006 | 0,0152   | 0,0377 | 0,1144 | 0,1947 |
| RH       | 0,0017 | 0,0006 |        | 0,6660   | 0,5017 | 0,4261 | 0,0401 |
| R(AH/AF) | 0,2722 | 0,0152 | 0,6660 |          | 0,1966 | 0,5141 | 0,4681 |
| AP       | 0,7949 | 0,0377 | 0,5017 | 0,1966   |        | 0,0000 | 0,6255 |
| DT       | 0,3250 | 0,1144 | 0,4261 | 0,5141   | 0,0000 |        | 0,6600 |
| MS       | 0,0164 | 0,1947 | 0,0401 | 0,4681   | 0,6255 | 0,6600 |        |

Correlación lineal significativa.

*Valores-P abajo de 0,05 indican correlaciones significativamente diferentes de cero, con un nivel de confianza del 95,0%.*

Se encontraron correlaciones significativas del IH con los parámetros húmicos GH, RH, y el parámetro de germinación MS. Para el parámetro del GH se encontraron correlaciones significativas con los parámetros húmicos IH, RH y R(AH/AF), y con el parámetro biométrico de germinación AP. En cuanto al parámetro de RH se encontró una correlación significativa con los parámetros húmicos IH, GH y con el parámetro biométrico de germinación MS. Para la relación R(AH/AF) solamente

obtuvo una correlación con el parámetro húmico GH. Finalmente se encontró una correlación significativa entre los parámetros biométricos de germinación AP y DT.

Armado *et al.* (2009), realizaron una correlación entre los parámetros húmicos y el contenido de carbono orgánico total de las fracciones, en donde encontraron que la relación R(AH/CAF) 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. Aunque en nuestro caso no se evaluó la correlación entre el carbono orgánico de las fracciones, y solamente se evidencia variables significativas con el grado de humificación (GH) para dicho parámetro, este último fue el que presentó mayores variables significativas en cuanto a correlación con los parámetros húmicos y fue el único que tuvo correlación con el parámetro de germinación AP. Por lo tanto no se puede establecer directamente la R(AH/AF) como indicador de calidad para este tipo de suelo, más sin embargo, si podemos establecer el GH como dicho indicador de calidad.

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1. CONCLUSIONES**

- Se observó que el compost cumple con las normativas de calidad para su empleo como enmienda para todos los valores obtenidos de las propiedades fisicoquímicas exceptuando la conductividad eléctrica (CE) la cual estuvo por encima del límite permitido.
- El tiempo de incubación afectó positivamente el contenido de humedad, CE, CIC, y la MOS; y de forma negativa el pH y el contenido de carbono orgánico total. El contenido de enmienda afectó de forma positiva el contenido de humedad, CIC, MOS y COT; y se obtuvo un efecto negativo para el pH.
- El grado de humificación y la relación existente entre las sustancias húmicas y fúlvicas se ve fuertemente afectado por el tiempo de incubación de las muestras.
- Los parámetros de humificación se vieron fuertemente influenciados por el contenido de enmienda empleado.
- Existe una correlación significativa entre los parámetros de humificación y los parámetros de germinación. Siendo el GH el que obtuvo más correlaciones con el IH, la RH, la R(AH/AF), y la AP de las muestras bajo estudio.
- El porcentaje de germinación se reduce significativamente al tener un mayor tiempo de incubación y contenido de enmienda empleado.
- El GH de la enmienda influye significativamente en el crecimiento de las plántulas de tomate.
- Los resultados obtenidos en el presente estudio suponen el empleo de la enmienda sin incubación previa, así como también su uso como sustrato ya que ahí presenta la mayor disponibilidad de nutrientes para la plántula.

## 5.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda el empleo de otros tipos de enmienda en donde se varíe los materiales empleados para realizar la matriz del compost, para así poder evaluar el efecto por dichos elementos.
- Realizar un análisis microbiológico que permita evidenciar con más detalle las posibles causas de la falta de un mejor proceso de humificado de la materia orgánica contenida en las muestras.
- Es de suma importancia tener un mejor control de las etapas en el proceso de compostaje, para así asegurar un rendimiento óptimo en la productividad de dicho compost como un potenciador de las propiedades físicas, fisicoquímicas y biológicas del suelo a tratar.
- Para corroborar los resultados referentes al fraccionamiento de las sustancias húmicas, sería conveniente emplear otros métodos de extracción, para poder evaluar los valores obtenidos en cuanto al porcentaje de carbono orgánico extraíble.
- Se debe mantener controladas el máximo de las variables posibles a la hora de realizar el montaje de las germinaciones, así como su proceso en cada etapa de germinado hasta sus análisis posteriores.
- Mantener un número base de semillas a emplear para cada sistema germinado, con el fin de poder establecer mejores relaciones en cuanto a los resultados obtenidos en los parámetros de germinación.
- Es recomendable evaluar la aplicación de esta enmienda probando un tiempo de incubación entre 0 y 60 días.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andersen, R., & Sowers, J. (1968). Optimum conditions for bonding of plant phenols to insoluble polyvinylpyrrolidone. *Phytochemistry*(7), 293-301.
- Apanga, A., & Tshwenyane, S. (2003). Feeding Values and Anti-Nutritive Factors of Forage Tree Legumes. *Pakistan Journal of Nutrition*, 170-177.
- Armado M., A., Contreras, F., & García L., P. (2009). Fraccionamiento químico de carbono orgánico y su relación con la actividad microbológica, biomasa microbiana y cantidad de ADN en suelos característicos venezolanos. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 1(75).
- Arrigo, N. M., Jiménez, M., Palma, R. M., Benito, M., & Tortarolo, M. F. (2005). Residuos de Poda Compostados y sin Compostar: Uso Potencial como Enmienda Orgánica en Suelo. Buenos Aires, Argentina: Cátedra de Edafología; Cátedra de Química General e Inorgánica, Facultad de Agronomía UBA. Universidad Politécnica de Madrid.
- Avendaño, D. A. (2003). El proceso de compostaje. Chile: Departamento de Fruticultura y Enología. Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal. Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Blanco S., J. O. (2013). Acondicionadores de y mejoradores del suelo. Publicado en: [http://www.agronet.gov.co/www/docs\\_si2/2006718153746\\_Acondicionadores%20y%20mejoradores%20de%20suelo.pdf](http://www.agronet.gov.co/www/docs_si2/2006718153746_Acondicionadores%20y%20mejoradores%20de%20suelo.pdf)
- Boulding, R. (1994). Description and sampling of contaminated soils. *Lewis Publishers* (2).
- Bouyoucos, G. J. (1936). Directions for making mechanical analysis of soils by the hydrometer method. *Soil Science*(4), 225-228.
- Brito, J. (1975). Caracteres de la materia orgánica de algunos suelos del estado Yaracuy. *Agron. Trop.*, 26(4), 337-351.
- Ciavatta, C., Antisari, L., & Sequi, P. (1991). Humification Parameters of Organic Materials Applied to soil. 177-185. Springer Verlag, Berlín.
- Comisión Nacional del Medio Ambiente. (2000). *Norma de Calidad del Compost. Obtenido de Lombricultura Pachamama S.A.:* <http://www.lombricultura.cl/lombricultura.cl/userfiles/file/biblioteca/normas/Norma%20calidad%20COMPOST.pdf>
- Corbella, R., & Ullivarri, J. F. (2015). *Cátedra de Edafología.* Obtenido de <http://www.edafologia.com.ar/Descargas/Cartillas/Materia%20Organica%20del%20Suelo.pdf>
- Cuevas, G., & Walter, I. (2004). Metales Pesados en Maíz (*Zea mays* L.) Cultivado en un Suelo Enmendado con Diferentes Dosis de Compost de Lodo Residual. Madrid, España: Departamento de Medio Ambiente. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Agroalimentaria, INIA.
- Eggerth, L., Díaz, L., Chang, M., & Iseppi, L. (2007). Chapter 12 Marketing of composts. *Waste Management Series*, 8, 325-355.



- Espinoza, L., Slaton, N., & Mozaffari, M. (Enero de 2012). Cómo interpretar los resultados de los análisis de suelos. *Servicio de Extensión Cooperativa de la Universidad de Arkansas*. (L. Espinoza, Trad.) University of Arkansas System.
- Faithfull, M. (2005). Métodos de análisis químico agrícola. *Manual Práctico*, 85-86, 100-101. Acribia.
- Fernández, J. J. (2012). Efectos de los compost sobre las propiedades del suelo: Evaluación comparativa de compost con separación en origen y sin separación en origen. *Universidad Politécnica de Cartagena*. Cartagena, Colombia.
- Fundación Terra. (2003). Compostaje. *Perspectiva Ambiental*, 29, *Asociación de Mestres Rosa Sensat*. (V. Serrano, Trad.) Barcelona, España.
- Gabeta, J. (2009). Manual Teórico Práctico para la Cría de Lombrices. 2da, 82-84. Buenos Aires, Argentina: Continente.
- Gallardo, J. F. (2001). Uso de Microorganismos en la Agricultura. Materia Orgánica: ¿Mito o Realidad? (J. C. Pérez, C. L. Álvarez, & N. W. Osorio, Edits.) Medellín, Colombia Publicado en: <http://digital.csic.es/bitstream/10261/58319/1/Mineralizaci%C3%B3n%20y%20humificaci%C3%B3n%20de%20la%20materia%20org%C3%A1nica%20del%20suelo%20consecuencias%20sobre%20la%20contaminaci%C3%B3n.pdf>
- Google Earth. (2016). Ubicación de la zona del muestreo del suelo. Sector Lago Jardín. Guacara, Carabobo, Venezuela.
- Google Earth. (2016). Ubicación del "Vivero Agroecológico Fernando Peñalver". Parque Fernando Peñalver. Valencia, Carabobo, Venezuela.
- Gutiérrez, P., & Román de la Vara, S. (2008). *Análisis y Diseño de Experimentos* (Tercera ed.). México: Mc Graw-Hill.
- Hernández, J. A. (2011). Bio recuperación de suelos salinos con el uso de materiales orgánicos. Madrid, España: Departamento de Edafología. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Universidad Politécnica de Madrid.
- Hernando, I., Hernando, J., & Ares, A. (2003). Caracterización del humus de suelos del macizo de Ayllón. *Ecología de España*(17), 77-85.
- Hoffman, M., & Shanno, M. (2007). "Salinity". (A. Lamm J.E., & F. Nakayama, Edits.) *Elsevier*, 131-160.
- Ibáñez, J. J. (2006). *Madrimasd*. Publicado en: <http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2006/08/18/37767>
- Jackson, L. (1964). Análisis químico de suelos. Barcelona, España: Omega.
- Jackson, M. L. (1970). *Análisis químico de suelos* (2da. ed.). Barcelona, España: Omega S.A.
- Jaramillo, J. (2002). Introducción a la ciencia del suelo. *Iera*, 415-450. Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Jiménez, E. I. (2014). Aspectos físicoquímicos, bioquímicos y microbiológicos del proceso de compostaje. Evaluación de la calidad. *Unidad temática 4. Métodos y parámetros para evaluar la madurez del compost*. Salamanca, España: Inst.

- Recursos Naturales y Agrobiología de Salamanca (IRNASA-CSIC).  
Publicado:  
<http://digital.csic.es/bitstream/10261/92881/1/3%202%20Unidad%20tematica%204.pdf>
- Karlen, D. L., Mausbach, M. J., Doran, J. W., Cline, R. G., Harris, R. F., & Shuman, G. E. (1997). Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation. *Soil Science Society of America*, 61, 4-10.
- Labrador, J. (15 de Julio de 2008). El compostaje y su uso en agricultura ecológica . *DOSSIER*, 34-40.
- León M., C. E. (27 de Septiembre de 2013). Propiedades de los suelos. Colombia. Publicado:  
[http://www.agronet.gov.co/www/docs\\_si2/200671995247\\_Propiedades%20de%20los%20suelos.pdf](http://www.agronet.gov.co/www/docs_si2/200671995247_Propiedades%20de%20los%20suelos.pdf)
- López, J., Díaz, A., Martínez, E., & Valdez, R. (2001). Abonos orgánicos y su efecto en propiedades físicas y químicas del suelo y rendimiento en maíz. *Terra*(19), 293-299.
- Lowe, L. (1975). Fractionation of acid-soluble components of soil organic matter using polyvinylpirrolidone. *Canadian Journal of Soil Science*(55), 119-126.
- Luciano, J. M. (2007). Diseño de un Sistema para el Bioaprovechamiento de los Desechos de Jardinería Generados en la Universidad de Carabobo Núcleo Bárbula. Valencia, Carabobo, Venezuela: Facultad de Ingeniería. Universidad de Carabobo. .
- Martínez, G. (Junio de 2015). Efecto del tratamiento de suelos agrícolas con diferentes enmiendas orgánicas sobre parámetros fisicoquímicos y actividades enzimáticas. Valencia, Carabobo, Venezuela: Departamento de Química. Facultad Experimental de Ciencias y Tecnología. Universidad de Carabobo. .
- Meléndez, G. (2003). Residuos orgánicos y materia orgánica del suelo. Taller de abonos orgánicos. Costa Rica.
- Miller, J. N., & Miller, J. C. (2002). *Estadística y Quimiometría para Química Analítica* (4 ed.). Madrid, España: PEARSON EDUCACIÓN, S.A.
- Molera, M., & Llitjos, V. (1995). Estudio de cuatro adaptaciones escolares de métodos de observación y determinación de la textura del suelo. . *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*.
- Montoya, F. (2012). Estudio de la capacidad del suelo para la degradación de aceites comestibles usados y su incorporación como materia orgánica. Valencia, Carabobo, Venezuela: Departamento de Química. Facultad Experimental de Ciencias y Tecnología. Universidad de Carabobo.
- Muñoz, G. (2007). Extracción de Materia Orgánica Soluble de un Compost de Orujo de Oliva de dos Fases. Murcia, España: Facultad de Química. Universidad de Murcia. Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura. Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- Norma Chilena. (2005). Métodos de Análisis de Compost. (30). Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias de Chile, INIA.

- Norma Técnica Colombiana. (2004). Productos para la industria agrícola. *Productos orgánico usados como abonos o fertilizantes y enmiendas de suelo.*(5167), 96. Bogotá, Colombia: ICONTEC.
- Nova Scotia. (2008). Nova Scotia Environment Compost Maturity Study. Nova Scotia, Canadá.
- Perdomo, S. P. (2007). Seguimiento del Proceso de Humificación en Compost Inoculado. D.C., Bogotá, Colombia: Facultad de Ciencias. Pontificia Universidad Javeriana.
- Petruzzi, H. J., Strizler, N. P., Ferri, C. M., Pagella, J. H., & Rabotnikof, C. M. (2005). Determinación de materia seca por métodos indirectos: Utilización del horno a microondas. (88). Facultad Agronomía, Universidad Nacional de la Pampa.
- Picón, R. (Febrero de 2013). Evaluación de sustratos alternativos para la producción de pilones de cultivo de tomate *Lycopersicon esculentum* Mill en los municipios Esquipulas y Chiquimula. *Departamento de Chimula*. Guatemala: Agronomía. Centro Universitario de Oriente. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Ramírez-Romero, P., & Mendoza-Cantú, A. (2008). Ensayos toxicológicos para la evaluación de sustancias químicas en agua y suelo. . México: Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Rivero, C. (1999). Materia orgánica del suelo. *Alcance* 57, 211.
- Roca, A. (2002). *Infoagro*. Publicado en:  
[http://www.infoagro.com/hortalizas/factores\\_influyen\\_compostaje\\_residuos.htm](http://www.infoagro.com/hortalizas/factores_influyen_compostaje_residuos.htm)
- Román, P., Martínez, M., & Pantoja, A. (2013). Manual del Compostaje del Agricultor. Experiencias en América Latina. *Oficina Regional para América Latina y el Caribe*. Santiago, Chile: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Rueda, A., Rodríguez, E., Poutou, R., & Matiz, A. (2001). Aislamiento, identificación y caracterización de bacterias termófilas aerobias con actividad proteolítica, a partir de pilas de compost en fase termófila. 21-30. Bogotá, Colombia: Tesis de pregrado en microbiología industrial. Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ciencias. Departamento de Microbiología.
- Sánchez, M. (2002). Effects of HCl-HF purification treatment on chemical composition and structure of acids. *European Journal of soils Science*(53), 375-381.
- Sequi, P., Nobili, M., Leita, L., & Cercignani, G. (1986). A new index of humification. 175-179.
- Singh, E. R., A., I., M., & Esa, N. (2011). "Management of biomass residues generated from palm oil mill: Vermicomposting a sustainable option". *Resources, Conservation and Recycling* , 55(4), 423-432.

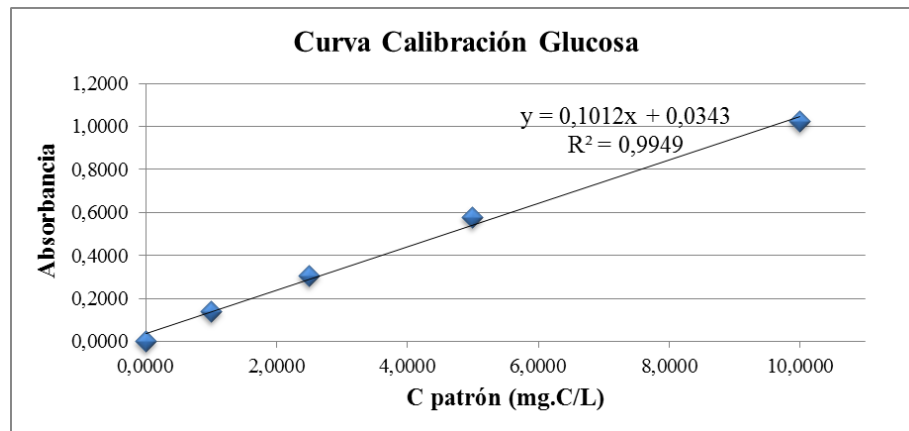
- Soil Survey Laboratory (SSL). (1996). *Methods Manual. (42), 3.0*. USA: National Soil Survey Center. National Resources Conservation Service. Department of Agriculture .
- Soliva, M., & López, M. (2004). *Calidad del compost: Influencia del tipo de materiales tratados y de las condiciones del proceso*. Catalunya, Barcelona, España: Escola Superior d'Agricultura de Barcelona. UPC.
- Tinoco, M. d. (2000). *Caracterización molecular de la materia orgánica de suelos afectados por distintos tipos de degradación en la comunidad de Madrid*. Madrid, España: Facultad de Ciencias. Universidad Autónoma de Madrid.
- Tittarelli, F., Petruzzelli, G., Pezzarossa, B., Civilini, M., Benedetti, A., & Sequi, P. (2007). *Quality and agronomic use of compost-Chapter 7. Waste Management Series, 8*, 119-157.
- Walinga, Kithome, I., Novozamsky, V. J., Van der Lee, H., & Van der Lee, J. (1992). *Spectrophotometric determination of organic carbon in soil. (15-16), 1935-1944*.
- Watanabe, A., & Kuwatsuka, S. (1992). *Chemical characteristics of soil sulvic acids fractionated using polyvinylpyrrolidone (PVP)*. *Soil Science and Plant Nutrition*(38), 31-41.
- Waters, A., & Oades, J. (1991). *Organic matter in water-stable aggregates*. (W. Wilson, Ed.) *The Royal Society of Chemistry.*, 206.
- Yasuo, H., & Akio, I. (1980). *The measurement of the cation-exchange capacity of composts for the estimation of the degree of maturity*. *Soil Science and Plant Nutrition*(26:1), 127-134.
- Zambrano, D. (2014). *Evaluación de la fitotóxicidad de suelos impactados por la actividad metalúrgica tratados con aceite comestible usado*. Bárbula, Carabobo, Venezuela: Departamento de Química. Facultad Experimental de Ciencias y Tecnología. Universidad de Carabobo.
- Zerpa S., J. Y. (2012). *Estudio de los parámetros de humificación en suelos contaminados con residuos sólidos urbanos*. Bárbula, Carabobo, Venezuela: Departamento de Química. Facultad Experimental de Ciencias y Tecnología. Universidad de Carabobo.
- Zmora-Nahum, S., Hadar, Y., & Chen, Y. (2007). *Physico-chemical properties of commercial composts varying in their source materials and contry of origin*. *Soil Biology and Biochemistry*, 1263-1276.

## APÉNDICE

### A.1. Datos de la Curva de Calibración de Glucosa.

| Solución | Valícuota<br>(50 mg.C/L) | Cp<br>(mg/L) | [ ] Patrón<br>(mg.C/L) | Abs.   |
|----------|--------------------------|--------------|------------------------|--------|
| Blanco   | 0,00                     | 0,0000       | 0,00                   | 0,0000 |
| P1       | 2,00                     | 1,0247       | 1,00                   | 0,1380 |
| P2       | 5,00                     | 2,6848       | 2,50                   | 0,3060 |
| P3       | 10,00                    | 5,3528       | 5,00                   | 0,5760 |
| P4       | 20,00                    | 9,1176       | 10,00                  | 1,0230 |

#### A.1.a. Curva de calibración de Glucosa.



### A.2. Análisis de Varianza para pH.

| Fuente                        | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|-------------------------------|-------------------|----|----------------|---------|---------|
| <b>A:TIEMPO DE INCUBACIÓN</b> | 9,20401           | 1  | 9,20401        | 201,33  | 0       |
| <b>B:%ENMIENDA</b>            | 0,636773          | 1  | 0,636773       | 13,93   | 0,0029  |
| <b>AB</b>                     | 1,66324           | 1  | 1,66324        | 36,38   | 0,0001  |
| <b>BB</b>                     | 3,74191           | 1  | 3,74191        | 81,85   | 0       |
| <b>Bloques</b>                | 2,83792           | 1  | 2,83792        | 62,08   | 0       |
| <b>Error total</b>            | 0,5486            | 12 | 0,0457167      |         |         |
| <b>Total (corr.)</b>          | 12,3638           | 17 |                |         |         |

R-cuadrada = 95,5629 por ciento  
R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 93,714 por ciento  
Error estándar del est. = 0,213815  
Error absoluto medio = 0,125185  
Estadístico Durbin-Watson = 2,8182 (P=0,5336)  
Autocorrelación residual de Lag 1 = -0,414307

### A.3. Análisis de Varianza para CE.

| Fuente                        | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|-------------------------------|-------------------|----|----------------|---------|---------|
| <b>A:TIEMPO DE INCUBACIÓN</b> | 158395            | 1  | 158395         | 456,12  | 0       |
| <b>B:%ENMIENDA</b>            | 411587            | 1  | 411587         | 1185,23 | 0       |
| <b>AB</b>                     | 1177,5            | 1  | 1177,5         | 3,39    | 0,0904  |
| <b>BB</b>                     | 231,53            | 1  | 231,53         | 0,67    | 0,4301  |
| <b>Bloques</b>                | 292,856           | 1  | 292,856        | 0,84    | 0,3765  |
| <b>Error total</b>            | 4167,17           | 12 | 347,264        |         |         |
| <b>Total (corr.)</b>          | 2,00E+06          | 17 |                |         |         |

R-cuadrada = 99,7919 por ciento  
R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 99,7051 por ciento  
Error estándar del est. = 18,635  
Error absoluto medio = 10,537  
Estadístico Durbin-Watson = 2,83775 (P=0,5652)  
Autocorrelación residual de Lag 1 = -0,445873

#### A.4. Análisis de Varianza para el % Humedad.

| Fuente                        | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P       |
|-------------------------------|-------------------|----|----------------|---------|---------------|
| <b>A:TIEMPO DE INCUBACIÓN</b> | 17,5189           | 1  | 17,5189        | 25,15   | <b>0,0003</b> |
| <b>B:%ENMIENDA</b>            | 282,414           | 1  | 282,414        | 405,39  | <b>0</b>      |
| <b>AB</b>                     | 4,88305           | 1  | 4,88305        | 7,01    | <b>0,0213</b> |
| <b>BB</b>                     | 18,5784           | 1  | 18,5784        | 26,67   | <b>0,0002</b> |
| <b>Bloques</b>                | 12,5201           | 1  | 12,5201        | 17,97   | <b>0,0011</b> |
| <b>Error total</b>            | 8,3598            | 12 | 0,69665        |         |               |
| <b>Total (corr.)</b>          | 820,906           | 17 |                |         |               |

R-cuadrada = 98,9816 por ciento  
R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 98,5573 por ciento  
Error estándar del est. = 0,834656  
Error absoluto medio = 0,516122  
Estadístico Durbin-Watson = 2,64687 (P=0,2757)  
Autocorrelación residual de Lag 1 = -0,335393

#### A.5. Análisis de Varianza para la CIC.

| Fuente                        | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P       |
|-------------------------------|-------------------|----|----------------|---------|---------------|
| <b>A:TIEMPO DE INCUBACIÓN</b> | 27,4625           | 1  | 27,4625        | 6,64    | <b>0,0243</b> |
| <b>B:%ENMIENDA</b>            | 47,6721           | 1  | 47,6721        | 11,52   | <b>0,0053</b> |
| <b>AB</b>                     | 6,08586           | 1  | 6,08586        | 1,47    | 0,2485        |
| <b>BB</b>                     | 0,0281588         | 1  | 0,0281588      | 0,01    | 0,9356        |
| <b>Bloques</b>                | 5,67219           | 1  | 5,67219        | 1,37    | 0,2644        |
| <b>Error total</b>            | 49,6474           | 12 | 4,13728        |         |               |
| <b>Total (corr.)</b>          | 160,397           | 17 |                |         |               |

R-cuadrada = 69,0471 por ciento  
R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 56,1501 por ciento  
Error estándar del est. = 2,03403  
Error absoluto medio = 1,1537  
Estadístico Durbin-Watson = 2,85699 (P=0,5961)  
Autocorrelación residual de Lag 1 = -0,493811

### A.6. Análisis de Varianza para la MOS.

| Fuente                        | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|-------------------------------|-------------------|----|----------------|---------|---------|
| <b>A:TIEMPO DE INCUBACIÓN</b> | 5,71001           | 1  | 5,71001        | 22,82   | 0,0005  |
| <b>B:%ENMIENDA</b>            | 113,695           | 1  | 113,695        | 454,45  | 0       |
| <b>AB</b>                     | 0,0371196         | 1  | 0,0371196      | 0,15    | 0,7068  |
| <b>BB</b>                     | 2,37979           | 1  | 2,37979        | 9,51    | 0,0095  |
| <b>Bloques</b>                | 0,769364          | 1  | 0,769364       | 3,08    | 0,105   |
| <b>Error total</b>            | 3,00217           | 12 | 0,250181       |         |         |
| <b>Total (corr.)</b>          | 404,207           | 17 |                |         |         |

R-cuadrada = 99,2573 por ciento  
R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 98,9478 por ciento  
Error estándar del est. = 0,500181  
Error absoluto medio = 0,320681  
Estadístico Durbin-Watson = 2,62717 (P=0,2509)  
Autocorrelación residual de Lag 1 = -0,330612

### A.7. Análisis de Varianza para el COT.

| Fuente                        | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|-------------------------------|-------------------|----|----------------|---------|---------|
| <b>A:TIEMPO DE INCUBACIÓN</b> | 12,4808           | 1  | 12,4808        | 38,97   | 0       |
| <b>B:%ENMIENDA</b>            | 48,2831           | 1  | 48,2831        | 150,75  | 0       |
| <b>AB</b>                     | 12,9573           | 1  | 12,9573        | 40,46   | 0       |
| <b>BB</b>                     | 33,4937           | 1  | 33,4937        | 104,58  | 0       |
| <b>Bloques</b>                | 11,1108           | 1  | 11,1108        | 34,69   | 0,0001  |
| <b>Error total</b>            | 3,84336           | 12 | 0,32028        |         |         |
| <b>Total (corr.)</b>          | 307,142           | 17 |                |         |         |

R-cuadrada = 98,7487 por ciento  
R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 98,2273 por ciento  
Error estándar del est. = 0,565933  
Error absoluto medio = 0,38833  
Estadístico Durbin-Watson = 2,9216 (P=0,6960)  
Autocorrelación residual de Lag 1 = -0,495904



### A.8. Análisis de Varianza para el EXT.

| Fuente                        | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|-------------------------------|-------------------|----|----------------|---------|---------|
| <b>A:TIEMPO DE INCUBACIÓN</b> | 0,687784          | 1  | 0,687784       | 33,81   | 0,0001  |
| <b>B:%ENMIENDA</b>            | 2,45993           | 1  | 2,45993        | 120,93  | 0       |
| <b>AB</b>                     | 0,983884          | 1  | 0,983884       | 48,37   | 0       |
| <b>BB</b>                     | 0,64751           | 1  | 0,64751        | 31,83   | 0,0001  |
| <b>Bloques</b>                | 0,897011          | 1  | 0,897011       | 44,1    | 0       |
| <b>Error total</b>            | 0,244102          | 12 | 0,0203418      |         |         |
| <b>Total (corr.)</b>          | 3,59655           | 17 |                |         |         |

R-cuadrada = 93,2129 por ciento  
R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 90,3849 por ciento  
Error estándar del est. = 0,142625  
Error absoluto medio = 0,0785481  
Estadístico Durbin-Watson = 2,27041 (P=0,0223)  
Autocorrelación residual de Lag 1 = -0,224125

### A.9. Análisis de Varianza para la fracción de AH.

| Fuente                        | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|-------------------------------|-------------------|----|----------------|---------|---------|
| <b>A:TIEMPO DE INCUBACIÓN</b> | 0,00391231        | 1  | 0,00391231     | 3,46    | 0,0876  |
| <b>B:%ENMIENDA</b>            | 0,214244          | 1  | 0,214244       | 189,37  | 0       |
| <b>AB</b>                     | 0,00450414        | 1  | 0,00450414     | 3,98    | 0,0692  |
| <b>BB</b>                     | 0,0082599         | 1  | 0,0082599      | 7,3     | 0,0192  |
| <b>Bloques</b>                | 0,00483536        | 1  | 0,00483536     | 4,27    | 0,061   |
| <b>Error total</b>            | 0,0135762         | 12 | 0,00113135     |         |         |
| <b>Total (corr.)</b>          | 0,665012          | 17 |                |         |         |

R-cuadrada = 97,9585 por ciento  
R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 97,1079 por ciento  
Error estándar del est. = 0,0336355  
Error absoluto medio = 0,0182741  
Estadístico Durbin-Watson = 2,67503 (P=0,3135)  
Autocorrelación residual de Lag 1 = -0,374984

**A.10.** Análisis de Varianza para la fracción de AF.

| Fuente                        | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|-------------------------------|-------------------|----|----------------|---------|---------|
| <b>A:TIEMPO DE INCUBACIÓN</b> | 0,049084          | 1  | 0,049084       | 252,99  | 0       |
| <b>B:%ENMIENDA</b>            | 0,00707428        | 1  | 0,00707428     | 36,46   | 0,0001  |
| <b>AB</b>                     | 0,030305          | 1  | 0,030305       | 156,2   | 0       |
| <b>BB</b>                     | 0,0303196         | 1  | 0,0303196      | 156,27  | 0       |
| <b>Bloques</b>                | 0,0259878         | 1  | 0,0259878      | 133,95  | 0       |
| <b>Error total</b>            | 0,00232821        | 12 | 0,00019402     |         |         |
| <b>Total (corr.)</b>          | 0,216106          | 17 |                |         |         |

R-cuadrada = 98,9227 por ciento  
R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 98,4738 por ciento  
Error estándar del est. = 0,013929  
Error absoluto medio = 0,00852222  
Estadístico Durbin-Watson = 2,6438 (P=0,2718)  
Autocorrelación residual de Lag 1 = -0,495904

**A.11.** Análisis de Varianza para la fracción de SNH.

| Fuente                        | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|-------------------------------|-------------------|----|----------------|---------|---------|
| <b>A:TIEMPO DE INCUBACIÓN</b> | 8,0221E-05        | 1  | 8,0221E-05     | 0,9     | 0,3614  |
| <b>B:%ENMIENDA</b>            | 0,00012447        | 1  | 0,00012447     | 1,4     | 0,2601  |
| <b>AB</b>                     | 0,00016548        | 1  | 0,00016548     | 1,86    | 0,1979  |
| <b>BB</b>                     | 0,00012626        | 1  | 0,00012626     | 1,42    | 0,2569  |
| <b>Bloques</b>                | 4,4889E-05        | 1  | 4,4889E-05     | 0,5     | 0,4913  |
| <b>Error total</b>            | 0,00106897        | 12 | 8,9081E-05     |         |         |
| <b>Total (corr.)</b>          | 0,00533409        | 17 |                |         |         |

R-cuadrada = 79,9597 por ciento  
R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 71,6096 por ciento  
Error estándar del est. = 0,00943825  
Error absoluto medio = 0,00508148  
Estadístico Durbin-Watson = 3,24494 (P=0,9769)  
Autocorrelación residual de Lag 1 = -0,635512

### A.12. Análisis de Varianza para el IH.

| Fuente                        | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|-------------------------------|-------------------|----|----------------|---------|---------|
| <b>A:TIEMPO DE INCUBACIÓN</b> | 0                 | 1  | 0              | 0       | 1       |
| <b>B:%ENMIENDA</b>            | 0,0150716         | 1  | 0,0150716      | 24,44   | 0,0003  |
| <b>AB</b>                     | 0,00017143        | 1  | 0,00017143     | 0,28    | 0,6076  |
| <b>BB</b>                     | 0,0038728         | 1  | 0,0038728      | 6,28    | 0,0276  |
| <b>Bloques</b>                | 6,5753E-05        | 1  | 6,5753E-05     | 0,11    | 0,7496  |
| <b>Error total</b>            | 0,0074            | 12 | 0,00061667     |         |         |
| <b>Total (corr.)</b>          | 0,0520278         | 17 |                |         |         |

R-cuadrada = 85,7768 por ciento  
R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 79,8505 por ciento  
Error estándar del est. = 0,0248328  
Error absoluto medio = 0,0111111  
Estadístico Durbin-Watson = 3,08258 (P=0,8883)  
Autocorrelación residual de Lag 1 = -0,545045

### A.13. Análisis de Varianza para el GH.

| Fuente                        | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|-------------------------------|-------------------|----|----------------|---------|---------|
| <b>A:TIEMPO DE INCUBACIÓN</b> | 216,331           | 1  | 216,331        | 64,99   | 0       |
| <b>B:%ENMIENDA</b>            | 61,2215           | 1  | 61,2215        | 18,39   | 0,0011  |
| <b>AB</b>                     | 197,677           | 1  | 197,677        | 59,39   | 0       |
| <b>BB</b>                     | 169,008           | 1  | 169,008        | 50,78   | 0       |
| <b>Bloques</b>                | 161,955           | 1  | 161,955        | 48,66   | 0       |
| <b>Error total</b>            | 39,9414           | 12 | 3,32845        |         |         |
| <b>Total (corr.)</b>          | 1466,24           | 17 |                |         |         |

R-cuadrada = 97,2759 por ciento  
R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 96,1409 por ciento  
Error estándar del est. = 1,8244  
Error absoluto medio = 0,905185  
Estadístico Durbin-Watson = 2,7163 (P=0,3730)  
Autocorrelación residual de Lag 1 = -0,359862

**A.14. Análisis de Varianza para la RH.**

| Fuente                        | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|-------------------------------|-------------------|----|----------------|---------|---------|
| <b>A:TIEMPO DE INCUBACIÓN</b> | 0,494187          | 1  | 0,494187       | 3,29    | 0,0946  |
| <b>B:%ENMIENDA</b>            | 5,34069           | 1  | 5,34069        | 35,6    | 0,0001  |
| <b>AB</b>                     | 1,59639           | 1  | 1,59639        | 10,64   | 0,0068  |
| <b>BB</b>                     | 3,30362           | 1  | 3,30362        | 22,02   | 0,0005  |
| <b>Bloques</b>                | 1,7685            | 1  | 1,7685         | 11,79   | 0,005   |
| <b>Error total</b>            | 1,80013           | 12 | 0,150011       |         |         |
| <b>Total (corr.)</b>          | 14,0551           | 17 |                |         |         |

R-cuadrada = 87,1923 por ciento  
R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 81,8558 por ciento  
Error estándar del est. = 0,387313  
Error absoluto medio = 0,275556  
Estadístico Durbin-Watson = 2,23345 (P=0,0160)  
Autocorrelación residual de Lag 1 = -0,155205

**A.15. Análisis de Varianza para la R(AH/AF).**

| Fuente                        | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|-------------------------------|-------------------|----|----------------|---------|---------|
| <b>A:TIEMPO DE INCUBACIÓN</b> | 42,7942           | 1  | 42,7942        | 44,49   | 0       |
| <b>B:%ENMIENDA</b>            | 8,98692           | 1  | 8,98692        | 9,34    | 0,01    |
| <b>AB</b>                     | 29,8811           | 1  | 29,8811        | 31,06   | 0,0001  |
| <b>BB</b>                     | 10,7301           | 1  | 10,7301        | 11,15   | 0,0059  |
| <b>Bloques</b>                | 23,968            | 1  | 23,968         | 24,92   | 0,0003  |
| <b>Error total</b>            | 11,5439           | 12 | 0,961989       |         |         |
| <b>Total (corr.)</b>          | 84,7288           | 17 |                |         |         |

R-cuadrada = 86,3755 por ciento  
R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 80,6986 por ciento  
Error estándar del est. = 0,98081  
Error absoluto medio = 0,354444  
Estadístico Durbin-Watson = 2,76688 (P=0,4511)  
Autocorrelación residual de Lag 1 = -0,383594

**A.16. Análisis de Varianza para la AP.**

| Fuente                        | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P       |
|-------------------------------|-------------------|----|----------------|---------|---------------|
| <b>A:TIEMPO DE INCUBACIÓN</b> | 329,983           | 1  | 329,983        | 144,1   | <b>0</b>      |
| <b>B:%ENMIENDA</b>            | 1,83431           | 1  | 1,83431        | 0,8     | 0,382         |
| <b>AB</b>                     | 11,2801           | 1  | 11,2801        | 4,93    | <b>0,0388</b> |
| <b>BB</b>                     | 56,5307           | 1  | 56,5307        | 24,69   | <b>0,0001</b> |
| <b>Bloques</b>                | 4,46542           | 1  | 4,46542        | 1,95    | 0,1787        |
| <b>Error total</b>            | 23,8763           | 2  | 11,9381        | 5,21    | <b>0,0157</b> |
| <b>Total (corr.)</b>          | 43,5078           | 19 | 2,28989        |         |               |

R-cuadrada = 92,4054 por ciento  
R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 89,6074 por ciento  
Error estándar del est. = 1,51324  
Error absoluto medio = 1,00196  
Estadístico Durbin-Watson = 1,5429 (P=0,0274)  
Autocorrelación residual de Lag 1 = 0,176375

**A.17. Análisis de Varianza para el DT.**

| Fuente                        | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P       |
|-------------------------------|-------------------|----|----------------|---------|---------------|
| <b>A:TIEMPO DE INCUBACIÓN</b> | 6,75907           | 1  | 6,75907        | 116,5   | <b>0</b>      |
| <b>B:%ENMIENDA</b>            | 1,67294           | 1  | 1,67294        | 28,83   | <b>0</b>      |
| <b>AB</b>                     | 0,400079          | 1  | 0,400079       | 6,9     | <b>0,0166</b> |
| <b>BB</b>                     | 1,04284           | 1  | 1,04284        | 17,97   | <b>0,0004</b> |
| <b>Bloques</b>                | 0,283478          | 1  | 0,283478       | 4,89    | <b>0,0395</b> |
| <b>Error total</b>            | 0,40963           | 2  | 0,204815       | 3,53    | <b>0,0497</b> |
| <b>Total (corr.)</b>          | 1,10235           | 19 | 0,0580184      |         |               |

R-cuadrada = 91,4625 por ciento  
R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 88,3171 por ciento  
Error estándar del est. = 0,24087  
Error absoluto medio = 0,150305  
Estadístico Durbin-Watson = 2,43103 (P=0,6415)  
Autocorrelación residual de Lag 1 = -0,234596

**A.18. Análisis de Varianza para la MS.**

| Fuente                        | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P       |
|-------------------------------|-------------------|----|----------------|---------|---------------|
| <b>A:TIEMPO DE INCUBACIÓN</b> | 900,664           | 1  | 900,664        | 14,36   | <b>0,0012</b> |
| <b>B:%ENMIENDA</b>            | 517,254           | 1  | 517,254        | 8,25    | <b>0,0098</b> |
| <b>AB</b>                     | 1202,13           | 1  | 1202,13        | 19,17   | <b>0,0003</b> |
| <b>BB</b>                     | 170,049           | 1  | 170,049        | 2,71    | 0,1161        |
| <b>Bloques</b>                | 192,074           | 1  | 192,074        | 3,06    | 0,0962        |
| <b>Error total</b>            | 31,5104           | 2  | 15,7552        | 0,25    | 0,7804        |
| <b>Total (corr.)</b>          | 1191,48           | 19 | 62,7096        |         |               |

R-cuadrada = 76,5623 por ciento  
R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 67,9273 por ciento  
Error estándar del est. = 7,91894  
Error absoluto medio = 5,38064  
Estadístico Durbin-Watson = 2,07003 (P=0,2864)  
Autocorrelación residual de Lag 1 = -0,0559763

**A.19. Germinación de las plántulas.**

| Tiempo de Incubación | Tratamiento | Día 0 (*) | Día 4 (**) | Día 6 (**) | Día 8 (**) | Día 10 (**) | Día 12 (**) |
|----------------------|-------------|-----------|------------|------------|------------|-------------|-------------|
| <b>0 Días</b>        | Compost     | 12        | 2          | 10         | 11         | 11          | 11          |
|                      | Suelo       | 20        | 2          | 6          | 18         | 18          | 18          |
|                      | CS5         | 16        | 3          | 6          | 15         | 15          | 15          |
|                      | CS10        | 15        | 2          | 4          | 12         | 12          | 12          |
|                      | CS50        | 10        | 2          | 6          | 7          | 7           | 7           |
| <b>60 Días</b>       | CS5         | 6         | 2          | 2          | 3          | 4           | 4           |
|                      | CS10        | 6         | 0          | 0          | 2          | 3           | 3           |
|                      | CS50        | 6         | 0          | 0          | 2          | 3           | 3           |
| <b>90 Días</b>       | CS5         | 6         | 2          | 2          | 2          | 2           | 3           |
|                      | CS10        | 6         | 2          | 2          | 3          | 3           | 3           |
|                      | CS50        | 6         | 2          | 2          | 3          | 3           | 3           |

(\*) Total semillas sembradas. (\*\*) Total semillas germinadas.

**A.20.** Análisis de Varianza para el Porcentaje de Germinación.

| Fuente                        | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P       |
|-------------------------------|-------------------|----|----------------|---------|---------------|
| <b>A:TIEMPO DE INCUBACIÓN</b> | 1159,26           | 1  | 1159,26        | 48,29   | <b>0,0061</b> |
| <b>B:%ENMIENDA</b>            | 309,87            | 1  | 309,87         | 12,91   | <b>0,0370</b> |
| <b>AB</b>                     | 102,147           | 1  | 102,147        | 4,25    | 0,1312        |
| <b>BB</b>                     | 124,331           | 1  | 124,331        | 5,18    | 0,1074        |
| <b>Bloques</b>                | 72,026            | 3  | 24,0087        |         |               |
| <b>Error total</b>            | 2137,22           | 8  |                |         |               |
| <b>Total (corr.)</b>          | 102,147           | 1  | 102,147        | 4,25    | 0,1312        |

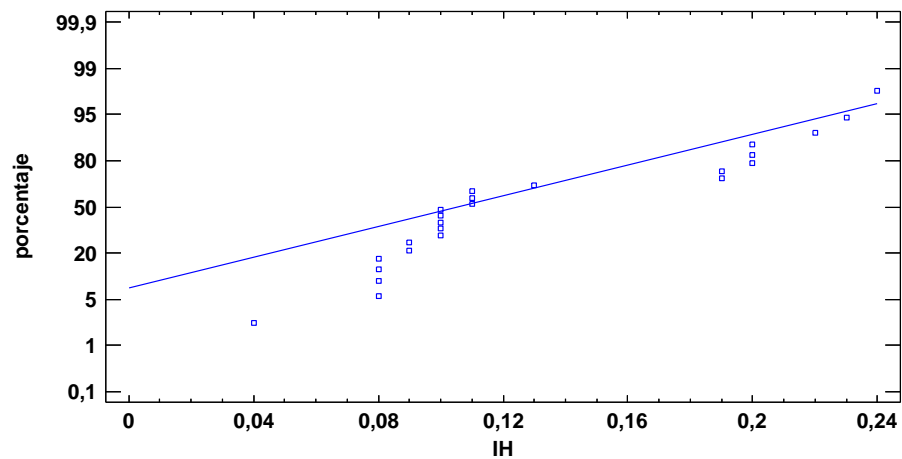
R-cuadrada = 96,6299 por ciento  
R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 91,0131 por ciento  
Error estándar del est. = 4,89987  
Error absoluto medio = 2,32601  
Estadístico Durbin-Watson = 2,55222 (P=0,5037)  
Auto correlación residual de Lag 1 = -0,28376

## A.21. Distribución normal de los parámetros bajo estudio.

### A.21.a. Resumen estadístico para IH

|                               |           |
|-------------------------------|-----------|
| Recuento                      | 24        |
| Promedio                      | 0,132083  |
| Mediana                       | 0,105     |
| Desviación Estándar           | 0,0586055 |
| Coefficiente de Variación     | 44,37%    |
| Mínimo                        | 0,04      |
| Máximo                        | 0,24      |
| Rango                         | 0,2       |
| <i>Sesgo Estandarizado</i>    | 1,1834    |
| <i>Curtosis Estandarizada</i> | -1,1028   |

Gráfico de Probabilidad Normal

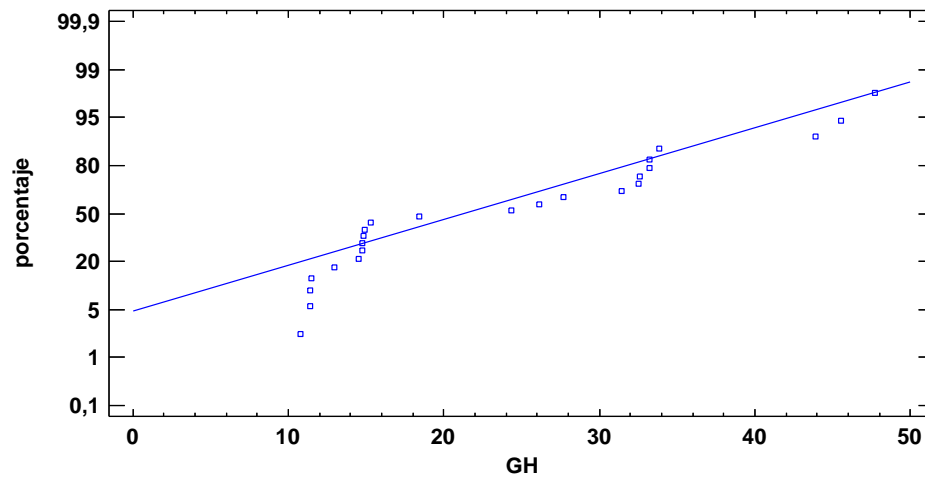




**A.21.b.** Resumen estadístico para GH.

|                               |                  |
|-------------------------------|------------------|
| Recuento                      | 24               |
| Promedio                      | 24,0663          |
| Mediana                       | 21,395           |
| Desviación Estándar           | 11,8206          |
| Coefficiente de Variación     | 49,12%           |
| Mínimo                        | 10,75            |
| Máximo                        | 47,71            |
| Rango                         | 36,96            |
| <i>Sesgo Estandarizado</i>    | <i>1,16862</i>   |
| <i>Curtosis Estandarizada</i> | <i>-0,880072</i> |

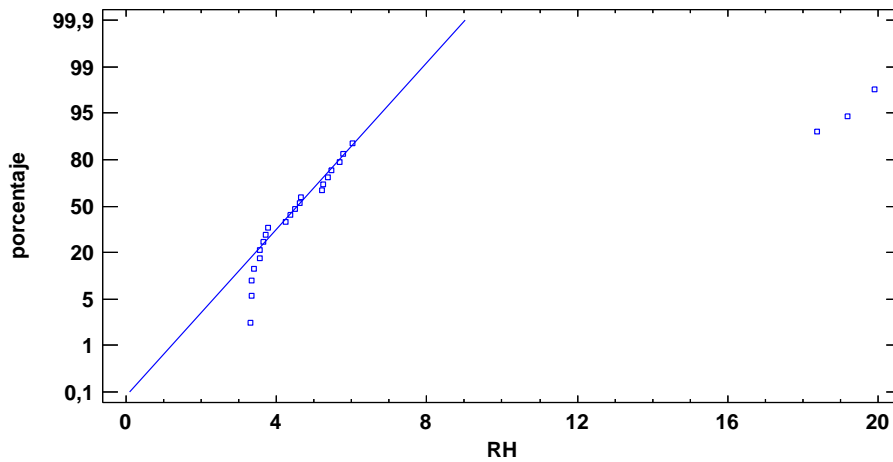
**Gráfico de Probabilidad Normal**



**A.21.c.** Resumen estadístico para RH.

|                               |                |
|-------------------------------|----------------|
| Recuento                      | 24             |
| Promedio                      | 6,26417        |
| Mediana                       | 4,56           |
| Desviación Estándar           | 5,05436        |
| Coficiente de Variación       | 80,69%         |
| Mínimo                        | 3,31           |
| Máximo                        | 19,9           |
| Rango                         | 16,59          |
| <i>Sesgo Estandarizado</i>    | <b>4,59083</b> |
| <i>Curtosis Estandarizada</i> | <b>3,87782</b> |

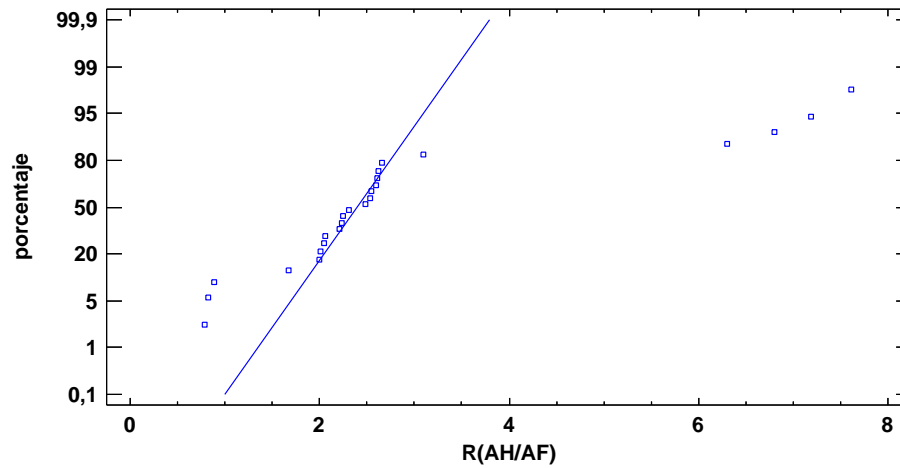
**Gráfico de Probabilidad Normal**



**A.21.d.** Resumen estadístico para R(AH/AF).

|                               |                |
|-------------------------------|----------------|
| Recuento                      | 24             |
| Promedio                      | 2,93167        |
| Mediana                       | 2,395          |
| Desviación Estándar           | 1,9451         |
| Coficiente de Variación       | 66,35%         |
| Mínimo                        | 0,79           |
| Máximo                        | 7,61           |
| Rango                         | 6,82           |
| <i>Sesgo Estandarizado</i>    | <b>3,10726</b> |
| <i>Curtosis Estandarizada</i> | <b>1,38324</b> |

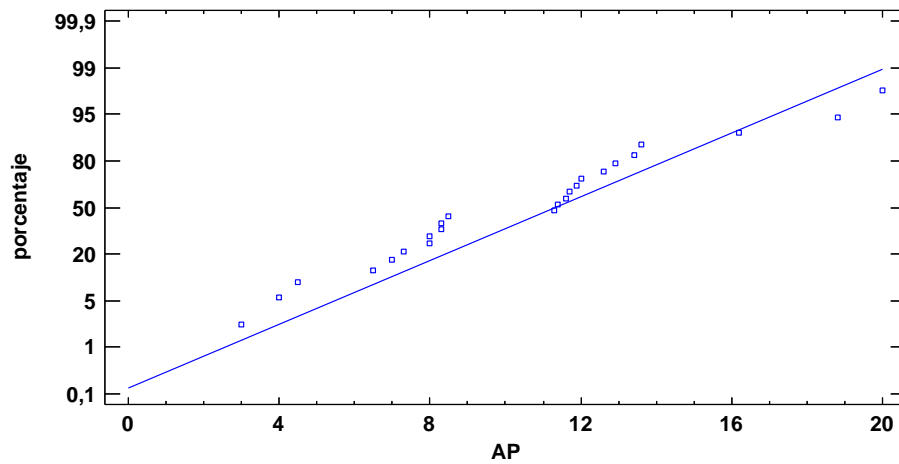
**Gráfico de Probabilidad Normal**



**A.21.e.** Resumen estadístico para AP.

|                               |           |
|-------------------------------|-----------|
| Recuento                      | 24        |
| Promedio                      | 10,45     |
| Mediana                       | 11,35     |
| Desviación Estándar           | 4,30995   |
| Coficiente de Variación       | 41,24%    |
| Mínimo                        | 3         |
| Máximo                        | 20        |
| Rango                         | 17        |
| <i>Sesgo Estandarizado</i>    | 0,774247  |
| <i>Curtosis Estandarizada</i> | 0,0336441 |

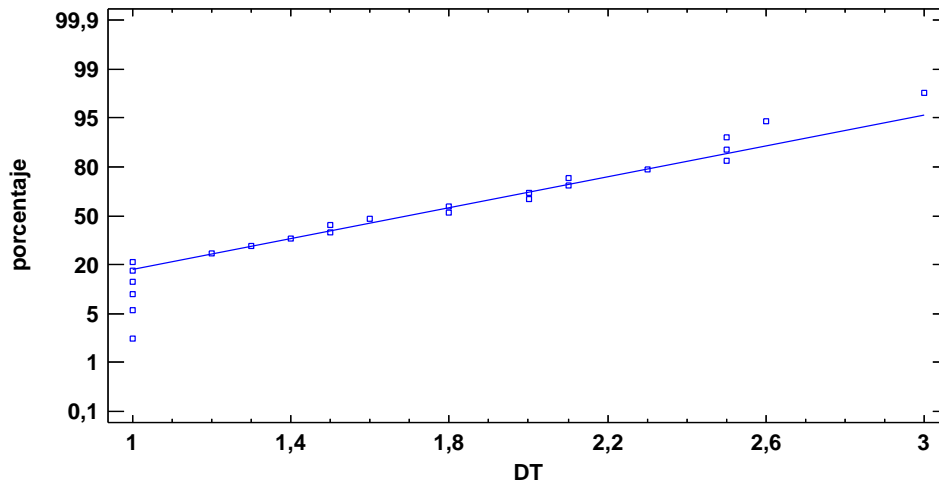
**Gráfico de Probabilidad Normal**



**A.21.f. Resumen estadístico para DT.**

|                               |                 |
|-------------------------------|-----------------|
| Recuento                      | 24              |
| Promedio                      | 1,7375          |
| Mediana                       | 1,7             |
| Desviación Estándar           | 0,618422        |
| Coficiente de Variación       | 35,59%          |
| Mínimo                        | 1               |
| Máximo                        | 3               |
| Rango                         | 2               |
| <i>Sesgo Estandarizado</i>    | <i>0,633777</i> |
| <i>Curtosis Estandarizada</i> | <i>-1,0543</i>  |

**Gráfico de Probabilidad Normal**



A.21.g. Resumen estadístico para la MS.

|                               |                  |
|-------------------------------|------------------|
| Recuento                      | 24               |
| Promedio                      | 71,4624          |
| Mediana                       | 73,7343          |
| Desviación Estándar           | 13,4013          |
| Coficiente de Variación       | 18,75%           |
| Mínimo                        | 46,9388          |
| Máximo                        | 95,4732          |
| Rango                         | 48,5344          |
| <i>Sesgo Estandarizado</i>    | <i>-0,211607</i> |
| <i>Curtosis Estandarizada</i> | <i>-1,1056</i>   |

Gráfico de Probabilidad Normal

