



---

---

# UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS PROFESIONAL

“Composta doméstica a base de arena como  
mejorador de suelos altamente plásticos”

PARA OBTENER EL GRADO DE:  
INGENIERO CIVIL

PRESENTA

P.I.C. MELISSA FERNANDA VILLAGÓMEZ GUERRERO

ASESOR

Dr. ROBERTO GARCÍA ACEVEDO

Morelia, Michoacán. Noviembre de 2019

---

---

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi madre, quien formo en mí las ganas de triunfar y perseverar ante las adversidades, quien me apoyo en este gran proceso de frustraciones, caídas y logros, quien siempre está para mí y no permite que me rinda.

A mamá Esther, por compartir una vida a mi lado, por estar conmigo alentando mis logros y fortaleciendo mis derrotas, por mostrarme que el éxito crece con la constancia y disciplina.

A mi familia, por siempre tener las palabras adecuadas en los momentos difíciles, por impulsarme a seguir mis sueños y jamás rendirme, por alentarme a entrar en lo desconocido y disfrutar al máximo la vida.

A mi asesor de tesis el Dr. Roberto García Acevedo, por compartir conmigo sus conocimientos.

A mis profesores, por darme las herramientas necesarias para enfrentar los retos que la profesión implica.

Al laboratorio de ingeniería sanitaria y ambiental de la facultad de ingeniería civil UMSNH, por permitirme realizar los análisis necesarios para la determinación de parámetros fisicoquímicos y guiarme durante el proceso.

Al laboratorio de mecánica de suelos de la facultad de ingeniería civil UMSNH, por brindarme su apoyo para realizar las pruebas requeridas.

A Dios y la vida, por permitirme llegar a este gran día con las personas que tenían que estar y amo.

## ÍNDICE

ÍNDICE DE IMAGENES .....	1
ÍNDICE DE TABLAS .....	4
ÍNDICE DE GRÁFICAS.....	5
RESUMEN.....	6
ABSTRACT.....	7
I. INTRODUCCIÓN.....	8
1.1. JUSTIFICACIÓN .....	9
1.2. OBJETIVO .....	10
1.2.1. OBJETIVO GENERAL.....	10
1.2.2. OBJETIVOS PARTICULARES .....	10
1.3. HIPÓTESIS.....	11
II. MARCO TEÓRICO.....	12
2.1. GENERALIDADES.....	12
2.2. FASES DEL COMPOSTAJE .....	13
2.3. HUMUS DE LOMBRIS .....	15
2.4. ARCILLAS EXPANSIVAS .....	16
2.5. PROCESOS BIOLÓGICOS PARA EL APROVECHAMIENTO DE PRODUCTOS DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS.....	18
2.6. SISTEMAS DE COMPOSTAJE.....	19
2.7. CLASIFICACION DEL SUELO .....	20
2.8. AGENTES MICROBIOLÓGICOS DE LA DESCOMPOSICIÓN.....	30
III. METODOLOGÍA.....	32
3.1. PROCESO .....	32
3.1.1. CONSTRUCCIÓN DEL REACTOR COMPOSTERO.....	32
3.1.2. RECOLECCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS .....	38
3.1.3. COSECHA.....	40
3.1.4. ANÁLISIS PARA LA DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS ..	40
3.1.5. EVALUACIÓN.....	41
IV. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN .....	43

4.1. MATERIALES PARA LA ELABORACIÓN DE COMPOSTA DOMÉSTICA .....	43
4.2. FILTRO PARA DRENAJE, SALIDA DE LIXIVIADOS .....	44
4.3. PRIMERA CAPA DE REACTOR COMPOSTERO.....	45
4.4. HUMEDAD .....	48
4.5. AIREACIÓN .....	49
4.6. REVISIÓN DEL PROCESO DE COMPOSTAJE .....	50
4.7. PRODUCTO FINAL DE LA PRIMERA CAPA DE COMPOSTA.....	51
4.8. TEMPORADA DE LLUVIA .....	52
V. PRUEBAS DE LABORATORIO.....	53
5.1. GENERALIDADES.....	53
5.2. DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL HIDRÓGENO (pH).....	53
5.3. DETERMINACIÓN DE LA TEMPERATURA .....	58
5.4. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA COMPOSTA Y MONITOREO DEL AGREGADO DE AGUA .....	61
5.5. PRUEBAS DE DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO), NITRÓGENO Y FÓSFORO.....	66
5.6. DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO).....	67
5.7. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE NITRÓGENO TOTAL EN LA COMPOSTA DOMÉSTICA.....	71
5.8. PESO CONSTANTE .....	73
5.9. DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE CARBONO ORGÁNICO.....	76
5.10. DETERMINACION DE LA CANTIDAD DE FÓSFORO TOTAL QUE CONTIENE LA COMPOSTA DOMÉSTICA.....	77
5.11. DETERMONACIÓN DE LA RELACIÓN CARBONO/NITRÓGENO (C/N).....	79
5.12. DETERMINACIÓN DE LÍMITE DE CONSISTENCIA Y CONTRACCIÓN LINEAL.....	79
5.12.1. DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO .....	80
5.12.2. DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO .....	84

“COMPOSTA DOMÉSTICA A BASE DE ARENA COMO MEJORADOR DE  
SUELOS ALTAMENTE PLÁSTICOS”

---

5.12.3. DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE PLÁSTICO.....	86
5.12.4. DETERMINACIÓN DE LA CONTRACCIÓN LINEAL .....	87
5.12.5. DETERMINACIÓN DE LA CONTRACCIÓN VOLUMÉTRICA	89
VI. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	94
6.1. ANÁLISIS EN EL LABORATORIO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL .....	94
6.2. ANÁLISIS EN EL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS..	97
VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	105
VIII. REFERENCIAS CONSULTADAS .....	107

## ÍNDICE DE IMAGENES

Imagen 1. Temperatura, oxígeno y pH en el proceso de compostaje .....	15
Imagen 2. Diferencia de tamaño entre las partículas de arcilla, limo y arena .....	17
Imagen 3. Cruz de suelos .....	21
Imagen 4. Composición del suelo de pradera en volumen porcentual.....	21
Imagen 5. Composición de la materia orgánica del suelo de una pradera, % de materia seca .....	22
Imagen 6. Intercambio gaseoso entre el suelo y el exterior. Las raíces muestran el estado del suelo.....	23
Imagen 7. Horizontes del suelo .....	25
Imagen 8. Síntomas de deficiencia de nutrientes .....	26
Imagen 9. Ciclo del compostaje .....	32
Imagen 10. Cajas huecas apiladas .....	33
Imagen 11. Adecuación de puerta.....	34
Imagen 12. Sujeción de cajas .....	35
Imagen 13. Colocado de protección plástica.....	36
Imagen 14. Tapa de compostero.....	37
Imagen 15. Reactor compostero bajo el sol .....	38
Imagen 16. Reactor compostero al medio día, bajo la sombra .....	38
Imagen 17. Residuos orgánicos del primer estrato .....	39
Imagen 18. Residuos orgánicos del segundo estrato .....	39
Imagen 19. Grava y Arena .....	44
Imagen 20. Sistema de drenaje para lixiviados .....	44
Imagen 21. Cribado de arena.....	45
Imagen 22. Cribado de material granular (arenas) .....	45
Imagen 23. Conformación de la primera capa de la composta.....	46
Imagen 24. Capa de arena.....	46
Imagen 25. Capa de residuos sólidos orgánicos .....	47

“COMPOSTA DOMÉSTICA A BASE DE ARENA COMO MEJORADOR DE  
SUELOS ALTAMENTE PLÁSTICOS”

---

Imagen 26. Tercera capa de hojas verdes .....	47
Imagen 27. Humedecimiento de la composta .....	48
Imagen 28. Aireado de la composta .....	49
Imagen 29. Monitoreo del proceso de compostaje .....	50
Imagen 30. Producto final (composta).....	51
Imagen 31. Protector plástico contra lluvias .....	52
Imagen 32. Pesado de la muestra de composta .....	55
Imagen 33. Medición de agua destilada .....	55
Imagen 34. Composta + agua destilada .....	56
Imagen 35. Mezclado de la muestra .....	56
Imagen 36. Medición de pH (potenciómetro).....	57
Imagen 37. Medición de pH (tiras reactivas) .....	57
Imagen 38. Diferencia de temperaturas en distintas profundidades .....	58
Imagen 39. Humedecimiento de la composta .....	61
Imagen 40. Evaporación de la muestra .....	64
Imagen 41. Enfriado de crisol + muestra .....	64
Imagen 42. Secado de la muestra.....	65
Imagen 43. Pesado de la muestra.....	65
Imagen 44. Pesado de muestra .....	66
Imagen 45. Medición de agua destilada .....	66
Imagen 46. Composta + agua destilada .....	67
Imagen 47. Mezclado de la muestra .....	67
Imagen 48. Mezclado de la muestra + reactivos .....	70
Imagen 49. Digestión de la muestra .....	70
Imagen 50. Adición de reactivos para determinación de N.....	72
Imagen 51. Digestión de N.....	72
Imagen 52. Calcinación de la composta.....	75
Imagen 53. Pesado de crisol.....	75
Imagen 54. Secado de la muestra + crisol .....	75

Imagen 55. Secado de la muestra.....	75
Imagen 56. Muestreo del material preparado.....	81
Imagen 57. Homogenización de la muestra .....	81
Imagen 58. Muestra colocada en copa de Casagrande .....	82
Imagen 59. Porción de material para obtener humedad.....	83
Imagen 60. Cilindros para medir límite plástico .....	85
Imagen 61. Fragmentos de cilindros para determinar la humedad.....	86
Imagen 62. Molde enrazado.....	88
Imagen 63. Suelo compactado en la cápsula .....	91
Imagen 64. Desborde de exceso de mercurio .....	92
Imagen 65. Volumen desplazado de mercurio .....	92



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Principales microorganismos identificados en el proceso de compostaje. .....	30
Tabla 2. Material y herramienta necesaria para la construcción del reactor compostero .....	32
Tabla 3. Materiales necesarios para la producción de composta doméstica .....	43
Tabla 4. Temperaturas registradas .....	60
Tabla 5. Comparación de parámetros fisicoquímicos .....	94
Tabla 6. Determinación de límites y contracción de la arcilla altamente plástica ..	97
Tabla 7. Determinación de límites y contracción de la arcilla + composta (primer estrato).....	100
Tabla 8. Determinación de límites y contracción de la arcilla + composta (mejoramiento de estrato) .....	102

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Determinación de límites líquido de la arcilla .....	98
Gráfica 2. Carta de plasticidad para la arcilla .....	98
Gráfica 3. Determinación del límite líquido de la arcilla + composta (primer estrato) .....	101
Gráfica 4. Carta de plasticidad para la arcilla + composta (primer estrato).....	101
Gráfica 5. Determinación del límite líquido de la arcilla + composta (mejoramiento de estrato).....	103
Gráfica 6. Carta de plasticidad para la arcilla + composta (mejoramiento de estrato) .....	104

## RESUMEN

En el presente documento de investigación se llevaron a cabo pruebas y análisis de laboratorio para medir la calidad en la elaboración de composta doméstica, debido a que ésta no se encuentra normada se llevó a cabo conforme a las especificaciones de calidad que debe cumplir el humus de lombriz, indicado en la Norma Mexicana NMX-FF- 109-SCFI-2007.

Posterior a la elaboración de la composta se realizaron distintos análisis para determinar parámetros fisicoquímicos (pH, temperatura, humedad, DQO, nitrógeno, carbono y fósforo) que permiten conocer la calidad de la composta doméstica y ser comparados con la Norma Mexicana NMX-FF- 109-SCFI-2007.

Con la finalidad de mejorar suelos altamente plásticos se realizó una combinación de materiales (composta + arcilla altamente plástica), en el cual se realizaron pruebas para determinar los límites que en ella se presentaron.

Para identificación y clasificación de suelos se aplicó la Norma Mexicana NMX-C-493-ONNCCE-2018, para determinar la plasticidad de la muestra de suelo que pasa por la malla 0.425 mm (No. 40), por medio del límite líquido, límite plástico y el índice de plasticidad.

Arcilla, residuos sólidos orgánicos, suelos, reactor compostero, estrato.

## **ABSTRACT**

In this research document, laboratory tests and analyzes will be carried out to measure the quality in the production of domestic compost, because the procedure is not carried out according to the quality specifications that the humus must meet of earthworm, indicated in Mexican Standard NMX-FF-109-SCFI-2007.

After composting, different analyzes were carried out to determine physicochemical parameters (pH, temperature, humidity, COD, nitrogen, carbon and phosphorus) that allow to know the quality of the domestic compost and be compared with the Mexican Standard NMX-FF- 109-SCFI-2007.

With the determination to improve highly plastic soils, a combination of materials (compost + highly plastic clay) was carried out, in which the tests were analyzed to determine the limits that arise in it.

For identification and classification of soils, the Mexican Standard NMX-C-493-ONNCCE-2018 was applied to determine the plasticity of the soil sample that passes through the 0.425 mm mesh (No. 40), through the liquid limit, limit plastic and plasticity index.

## I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad los problemas ambientales crecen con rapidez, por lo que la elaboración de composta domestica puede ser una de las soluciones para separar los residuos orgánicos de los residuos inorgánicos de manera eficiente y efectiva en el hogar, ya que al ser mezclados con otros residuos pierden la posibilidad de ser empleados para el fin de compostaje.

En esta investigación se intenta tomar como un medio de solución a la generación de residuos sólidos en las viviendas, así como incentivar la cultura de separar los diferentes residuos, empleando el reactor compostero como medio de digestor de la materia orgánica, la cual se descompone de manera aeróbica (con oxígeno) generando el proceso biooxidativo, en el que intervienen numerosos y variados microorganismos en el que influyen factores como la temperatura, la correcta aireación, la conservación de la humedad, entre otros, útiles para éste proceso.

Posterior a ésta actividad la composta sirve como abono para las plantas, debido al contenido de nitrógeno, fósforo y otros elementos y minerales necesarios para la fertilidad de la tierra.

Debido a que en la producción de la composta se utiliza arena como material de cobertura, se pretende que ésta se implemente como mejorador de suelos altamente plásticos realizando pruebas de plasticidad (límite líquido y límite plástico) y humedad natural del material (contracción lineal y contracción volumétrica) en porciones de suelo que pasen la malla número 40, esto además de reducir la plasticidad en la arcilla incrementa la cantidad de nutrientes en el suelo por lo que permitirá mejor desarrollo en la vegetación.

## **1.1. JUSTIFICACIÓN**

En nuestro país en gran medida la cultura de sub-clasificar los residuos sólidos urbanos no se encuentra como algo primordial, si bien es cierto existen familias que separan la “basura” como orgánica e inorgánica, pero al ser transferidas desde las fuentes generadoras al vehículo recolector éstas suelen ser combinadas, convirtiéndolas en desechos inutilizables para compostaje o en el peor de los casos se convierte en un producto peligroso.

El uso de la composta doméstica a base de arena puede reducir la plasticidad a suelos altamente plásticos y aumentar los nutrientes en el suelo para que se pueda desarrollar vegetación.

En la investigación abordada se propone la producción de composta doméstica a base de arena que se llevara a cabo con residuos sólidos orgánicos generados en el consumo diario de una casa habitación, el objetivo de esta medida es encontrar un nuevo uso a los residuos orgánicos con la finalidad de convertirlos en abono y fertilizantes naturales después del proceso de compostaje.

Durante el proceso se emplea arena como base de la producción de composta para conocer el mejoramiento que se le puede aplicar a un suelo altamente plástico, los nutrientes que pueden ser aportados y mejorar el crecimiento de las raíces de las plantas para que estas puedan crecer con mayor facilidad y desarrollarse adecuadamente.

## **1.2. OBJETIVO**

### **1.2.1. OBJETIVO GENERAL**

Producir composta domestica a base de arena procurando cumplir la Norma Oficial Mexicana de “Humus de Lombriz”, para el cumplimiento de parámetros fisicoquímicos en el laboratorio y determinar el grado de mejoramiento en arcillas altamente plásticas, conociendo las características de plasticidad de la arcilla y la composta.

### **1.2.2. OBJETIVOS PARTICULARES**

- Elaborar composta domestica empleando los residuos sólidos orgánicos generados en el hogar.
- Dar seguimiento al reactor compostero, manteniendo la humedad constante, evitando la perdida de la misma para que el proceso de desintegración de la materia se realice de la mejor manera.
- Estimar el comportamiento de la composta domestica por medio de análisis que faciliten la determinación de parámetros fisicoquímicos (pH, temperatura, humedad, DQO, nitrógeno, fósforo y carbono) que permiten conocer la calidad de la composta doméstica y ser comparados con la Norma Mexicana NMX-FF-109-SCFI-2007.
- Identificar las condiciones favorables para que la composta doméstica se lleve a cabo de una manera óptima en el proceso de descomposición de la materia orgánica.
- Determinar el límite líquido, límite plástico y el índice de plasticidad de la arcilla y la combinación de arcilla + composta, para su clasificación en el laboratorio de mecánica de suelos.

### **1.3. HIPÓTESIS**

La composta domestica hecha a base de residuos orgánicos cubiertos con arena, reducirá la plasticidad en arcillas altamente expansivas y simultáneamente la adición de nutrientes hará que cumpla con la Norma Mexicana NMX-FF-109-SCFI-2007.



## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. GENERALIDADES

El compostaje proporciona la posibilidad de transformar de una manera segura los residuos orgánicos en insumos para la producción agrícola. La FAO define como compostaje a la mezcla de materia orgánica en descomposición en condiciones aeróbicas que se emplea para mejorar la estructura del suelo y proporcionar nutrientes.

La cantidad de materia orgánica, sin embargo, no solo depende de los microorganismos del suelo, sino que también del tipo de suelo, la vegetación, las condiciones ambientales como humedad y temperatura. El incremento de lluvias o riego, y en condiciones de temperatura media, los microorganismos se multiplican, consumen más materia orgánica y la descomposición es continua. Por ello, la aplicación de materia orgánica en suelos debe ser una práctica permanente, pensando no solamente en incrementar el porcentaje de materia orgánica o en alimentar a los microorganismos del suelo, sino también en los diversos beneficios que aporta al suelo:

#### ***Mejora las propiedades físicas:***

- Facilitando el manejo del suelo para las labores de arado o siembra.
- Aumentando la capacidad de retención de la humedad del suelo.
- Reduciendo el riesgo de erosión.
- Ayudando a regular la temperatura del suelo (temperatura edáfica).
- Reduciendo la evaporación del agua y regulando la humedad.

#### ***Mejora las propiedades químicas:***

- Aportando macronutrientes, como N, P, K y micronutrientes.
- Mejorando la capacidad de intercambio de cationes.

***Mejora la actividad biológica:***

- Aportando organismos (como bacterias y hongos) capaces de transformar los materiales insolubles del suelo en nutrientes para las plantas y degradar sustancias nocivas.
- Mejorando las condiciones del suelo y aportando carbono para mantener la biodiversidad de la micro y macrofauna (lombrices).

Otros beneficios complementarios del proceso de compostaje están en la reducción de malos olores producto de la pudrición y en la eliminación de vectores como insectos y ratas. También tiene una función muy importante en la eliminación de patógenos humanos, bacterias contaminantes de alimentos, de las semillas de malezas y otras plantas no deseadas. (Pilar Román, 2013)

## **2.2. FASES DEL COMPOSTAJE**

El compostaje es un proceso biológico, que ocurre en condiciones aeróbicas (presencia de oxígeno). Con la adecuada humedad y temperatura, se asegura una transformación higiénica de los restos orgánicos en un material homogéneo y asimilable por las plantas (imagen 1).

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 composta.

Al descomponer el C, el N y toda la materia orgánica inicial, los microorganismos desprenden calor medible a través de las variaciones de temperatura a lo largo del tiempo. Según la temperatura generada durante el

proceso, se reconocen tres etapas principales en un compostaje, además de una etapa de maduración de duración variable. Las diferentes fases del compostaje se dividen según la temperatura, en:

- 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.
- 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 (bacterias termófilas), que actúan facilitando la degradación de fuentes más complejas de C, como la celulosa y la lignina.
- 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.
- 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.

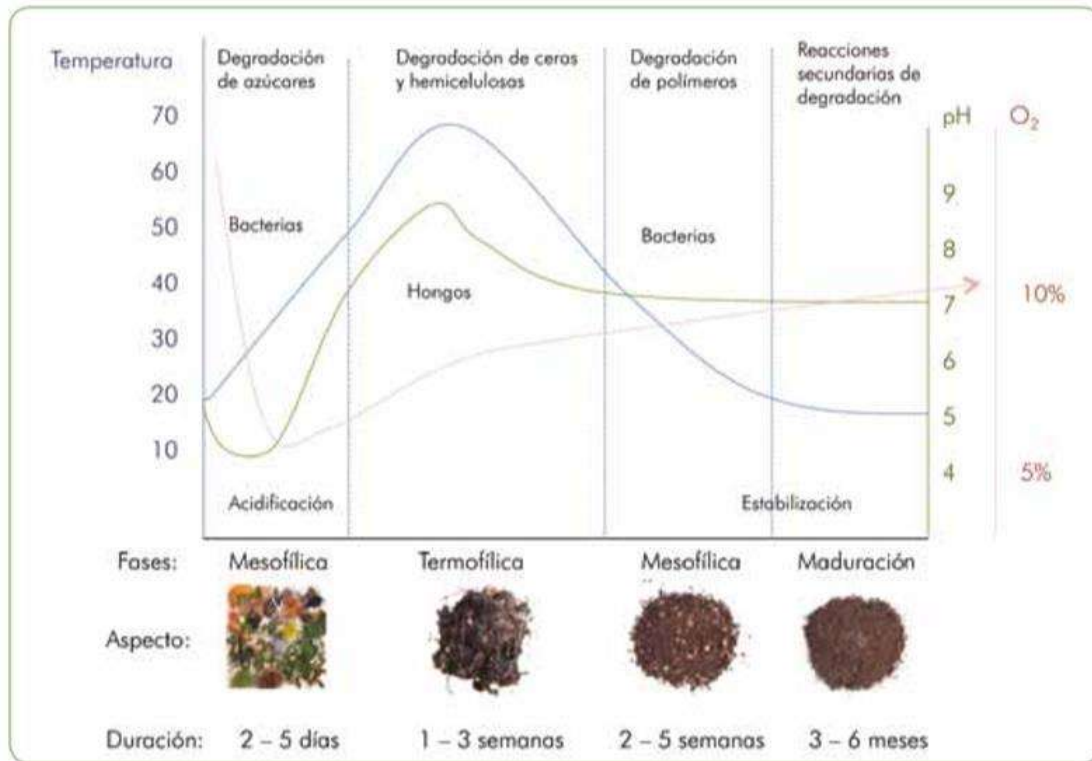


Imagen 1. Temperatura, oxígeno y pH en el proceso de compostaje

(Pilar Román, 2013)

### 2.3. HUMUS DE LOMBRIS

El humus es una sustancia de composición química compleja, órgano-mineral, de alto peso molecular, muy estables, de color negro a café oscuro, con propiedades coloidales e hidrofílicas, que se forman durante el proceso de transformación de la materia orgánica.

El humus de lombriz es producto resultante de la transformación digestiva y metabólica de la materia orgánica, mediante la crianza sistemática de lombrices de tierra, denominada lombricultura, que se utiliza fundamentalmente como mejorador, recuperador o enmienda orgánica de suelos, abono orgánico, inoculante microbiano, enraizador, germinador, sustrato de crecimiento, entre otros usos.

(Humus de lombriz , 2007)

## **2.4. ARCILLAS EXPANSIVAS**

Se llaman arcillas expansivas aquellas que presentan cambio de volumen con los cambios de humedad, cuando la arcilla se humedece sufre fuerte expansión sobre todo en climas de largos o intermitentes períodos de humedad, debido a los cambios de volumen con los cambios de humedad. Cuando la arcilla se encuentra a considerable distancia bajo la superficie no se expande y contrae tanto, como cuando se encuentra cerca de la superficie. Las arcillas expansivas se caracterizan a menudo por su alto límite líquido (LL) y un alto índice de plasticidad (IP).

En los suelos de arcillas expandibles ocurren problemas específicos con el manejo del agua y suelo, el laboreo, los sistemas de cultivo y el manejo de nutrientes. Se categorizan bajo la orden Vertisol y subgrupos verticos. Son típicos en zonas (sub)tropicales con estaciones secas pronunciadas. En las zonas tropicales semiáridas el manejo del agua y del suelo son factores importantes para su manejo.

El mal drenaje interno y la conductividad hidráulica extremadamente lenta llevan a condiciones de encharcamiento y a su vez retardo en la plantación. Sus propiedades de consistencia extrema permiten el laboreo apenas durante un corto plazo de régimen de humedad del suelo ya que se tornan pegajosos con humedad y duros en secos. El laboreo en condiciones húmedas puede resultar en que el suelo se pegue y forme terrones grandes. Las grietas anchas y profundas durante la estación seca permiten que el agua de la lluvia descienda libremente entre las grietas. Los suelos sostenidos en sistemas con altos insumos, aunque contengan un alto contenido de propiedades químicas, sufren de baja fertilidad produciendo deficiencias en N, P y micronutrientes. (FAO, 2019)

**Texturas básicas del suelo:**

**Arcilla**

- ✓ Tamaño de partícula: Inferior a 0,002mm
- ✓ Compactación: Densa, muy poco espacio entre las partículas.
- ✓ Descripción: La más pequeña de las partículas del suelo, tiende a retener el agua y adquiere consistencia viscosa cuando está mojada. Es ideal para las plantas de los humedales, pero carece de suficiente aire o espacio entre las partículas para que las raíces de la mayoría de los cultivos puedan crecer bien. Los suelos arcillosos son más propensos a sufrir deslizamientos de tierra que otros tipos de suelos.

**Limo**

- ✓ Tamaño de partícula: Entre 0,002mm y 0,05mm
- ✓ Compactación: Partículas de tamaño medio que retienen bien el aire y el agua.
- ✓ Descripción: Buen suelo para las plantas de cultivo, ya que retiene los nutrientes, tiene mucho espacio para el aire y filtra el agua.

**Arena**

- ✓ Tamaño de partícula: .05mm a 2mm
- ✓ Compactación: Suelta, con mucho espacio para el aire.
- ✓ Descripción: Es arenosa al tacto y propensa a la erosión. Es ideal para las plantas que pueden subsistir con muy poca agua, pero a menudo demasiado seca para que los cultivos crezcan bien al no retener el agua. (NACID/FAO, 2015)

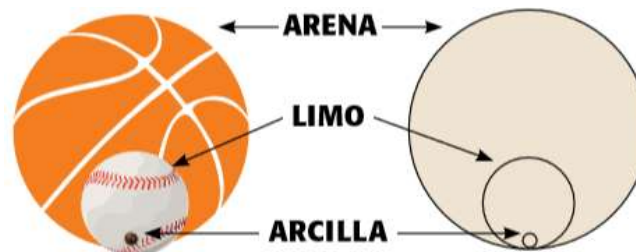


Imagen 2. Diferencia de tamaño entre las partículas de arcilla, limo y arena

## 2.5. PROCESOS BIOLÓGICOS PARA EL APROVECHAMIENTO DE PRODUCTOS DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS

**Composteo o conservación aeróbica.** si lo materiales orgánicos (excluyendo los plásticos, hules y pieles) son separados delos residuos sólidos municipales son susceptibles de la descomposición bacteriológica, el producto que se obtiene después de la actividad bacteriana es la composta o humus. Al proceso total que involucra la separación y transformación de la materia orgánica es el composteo. La descomposición de los residuos sólidos orgánicos se puede llevar a cabo en forma aeróbica o anaeróbica dependiendo de la disponibilidad de oxígeno.

El composteo consta de tres pasos principales: la preparación de la materia orgánica; descomposición de los residuos sólidos y preparación y comercialización del producto. Dentro del proceso de separación podemos contar con la recepción, clasificación, separación, reducción del tamaño y mezclado que son parte del proceso de separación. Una vez que los residuos sólidos se han convertido en humus, están listos para el tercer paso, la preparación para la comercialización del producto en el que se incluye el acondicionamiento con aditivos, granulación, empaque, almacenamiento, traslado y en algunos casos la comercialización directa.

**Digestión anaerobia o fermentación anaerobia.** Es el proceso utilizado para la producción de metano de los residuos sólidos y para el cual existen tres pasos básicos: el primero, que consiste en la preparación de la fracción orgánica y en la recepción, clasificación, separación y reducción de tamaño. El segundo, de lleva a cabo adicionando agua y nutrientes, además de tener que ajustar el pH a un valor de 6.7 lo que se consigue aplicando calor hasta alcanzar una temperatura de entre 55 y 60°C, realizando la digestión anaerobia en un reactor de flujo continuo, con el cual se mezcla el contenido por un periodo de entre 5 y

10 días. El tercero, se lleva a cabo a través de la captura, almacenamiento y, si es necesario, la separación de la mezcla de gases producto del proceso de digestión.

Lo importante en el compostaje no es biodegradar, sino poder conducir esta biodegradación por rutas metabólicas, que permiten la obtención de un producto final lo más apropiado posible, en el menor tiempo posible. El éxito de un proceso de compostaje, dependerá entonces de aplicar conocimientos de microbiología, manejando la composta como un medio de cultivo.

## **2.6. SISTEMAS DE COMPOSTAJE**

Existen varios sistemas de compostaje, no obstante, el objetivo de todos es además de transformar los residuos en composta, conseguir las condiciones consideradas letales para los patógenos, parásitos y elementos germinativos (semillas, esporas).

- Sistema en pilas de compostaje: pilas es la denominación que se le da a la masa de residuos en compostaje cuando la misma presenta una morfología y dimensiones determinadas. A los sistemas donde se procesa el material mediante la conformación de estas estructuras se le denomina sistema de pilas de compostaje.
- Sistemas en reactores: otros procesos de compostaje, no se basan en la conformación de pilas si no que los residuos orgánicos son procesados en instalaciones que pueden ser estáticas o dinámicas, que se conocen como reactores. Básicamente los reactores, son estructuras por lo general metálicas: cilíndricas o rectangulares, donde se mantienen controlados determinados parámetros (humedad, aireación), procurando que los mismos permanezcan en forma relativamente constante. Los reactores móviles, además, posibilitan la mezcla continua de los desechos mediante



dispositivos mecánicos, con lo que se logra un proceso homogéneo en toda la masa en compostaje.

Este tipo de sistemas, permiten acelerar las etapas iniciales del proceso, denominadas incorrectamente “fermentación”. Finalizadas estas etapas activas biológicamente, el material es retirado del reactor y acopiado para que se cumpla la maduración. Los sistemas de compostaje en reactores son siempre sistemas industriales. Se aplican en aquellas situaciones donde diariamente se reciben volúmenes importantes de desechos, y para los cuales sería necesario disponer de superficies muy extensas.

Además de los reactores metálicos, los hay sobre todo para uso doméstico de diversos materiales, tales como madera, plástico y PVC reciclado principalmente. También el composteo en hoyo se considera como una variante del tipo de sistema de reactores fijos, en los cuales se recomienda como cantidad mínima 1 m<sup>3</sup>.

## **2.7. CLASIFICACION DEL SUELO**

La cruz de suelos, además de correlacionar las variables, arena, arcilla y limo y sus diversas combinaciones, integra dos variables más como son la cal y el humus y podremos notar que se encuentran en relación inversa pues, cuando la cantidad de una aumenta, la otra disminuye ya que la cal reacciona oxidando rápidamente la materia orgánica. Esto puede ayudarnos a visualizar los cuidados que debemos tener con el encalado.

La siguiente cruz de suelos da una idea general sobre las diversas categorías del suelo (imagen 2).

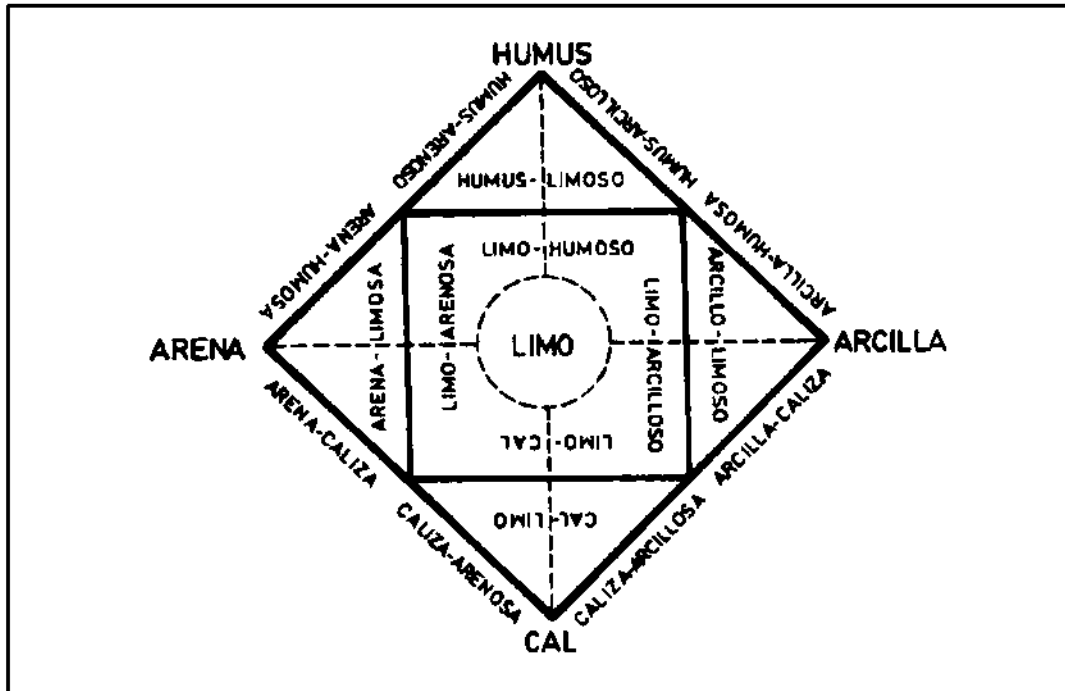


Imagen 3. Cruz de suelos

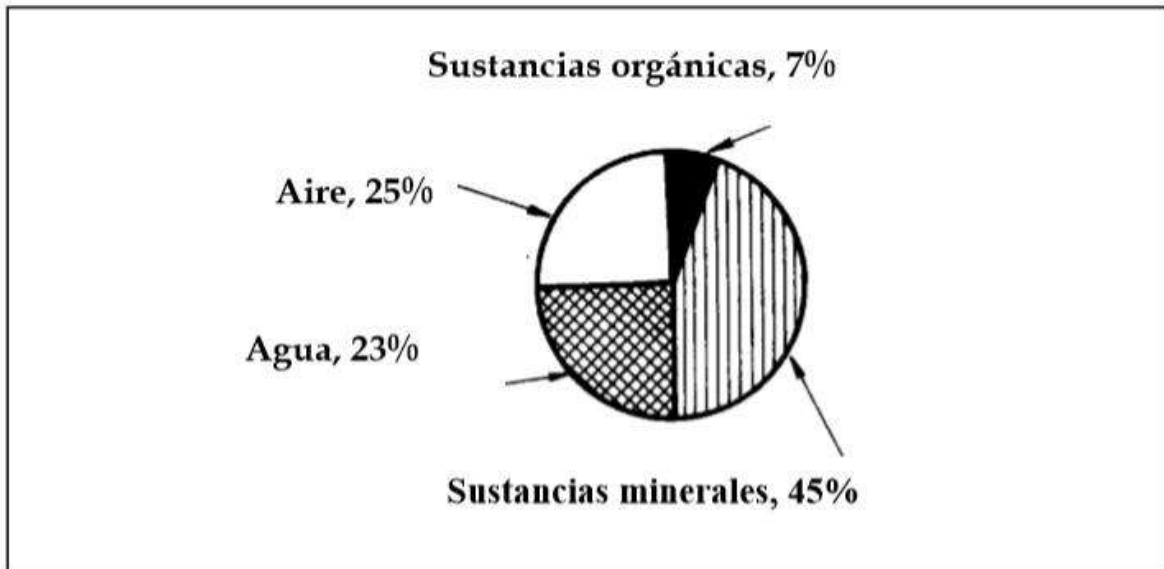


Imagen 4. Composición del suelo de pradera en volumen porcentual

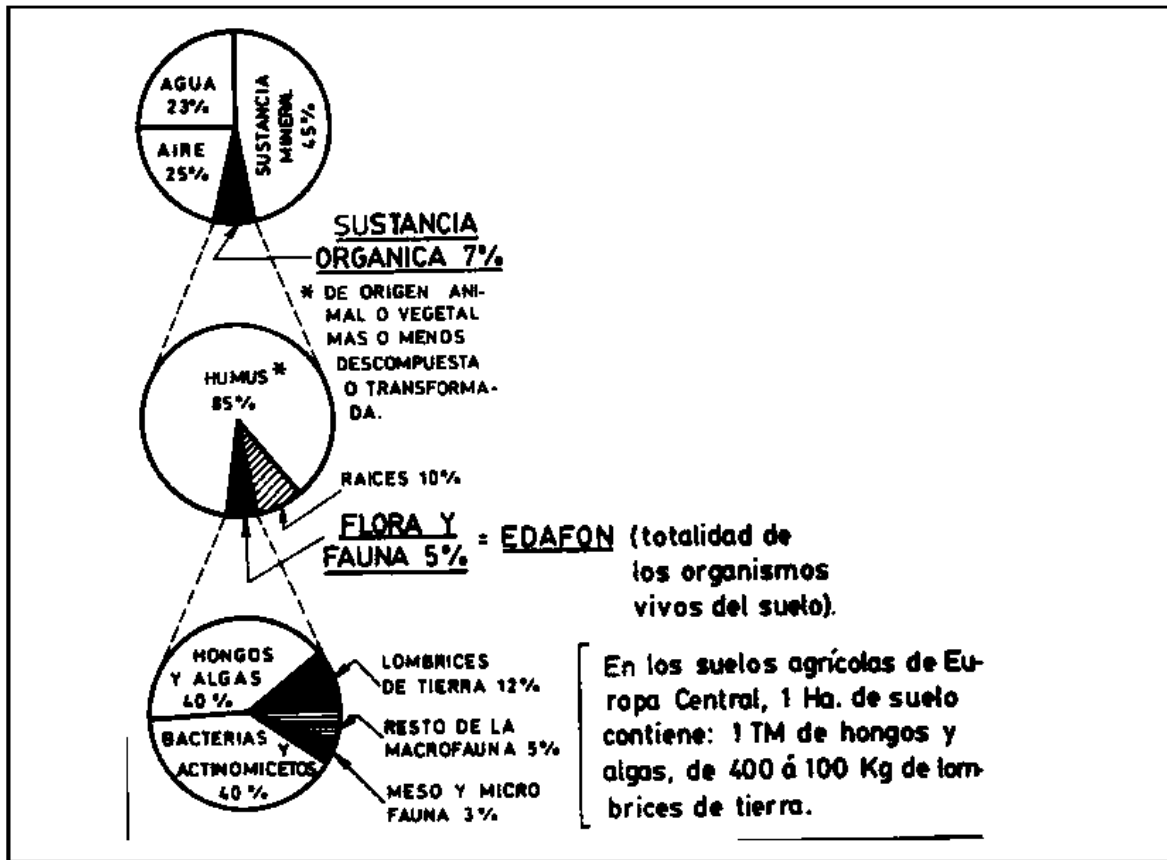


Imagen 5. Composición de la materia orgánica del suelo de una pradera, % de materia seca

### ***Efectos de la materia orgánica en la fertilidad del suelo***

La materia orgánica aumenta la capacidad de almacenamiento del agua del suelo, mejora la porosidad de los suelos compactados, regula la aeración y la temperatura, crea una estructura granular aterronada que favorece el desarrollo óptimo de las raíces de las plantas.

### ***El aire del suelo***

El agua comparte con el aire la porosidad que hay entre las partículas sólidas del suelo en relación inversa, es decir, al inundar el suelo, el agua desplaza al aire y cuando el suelo empieza a secarse el aire desplaza al agua. El agua es retenida con mayor energía en los microporos (0.0002 - 0.01 mm), mientras que el aire circula por los macroporos.

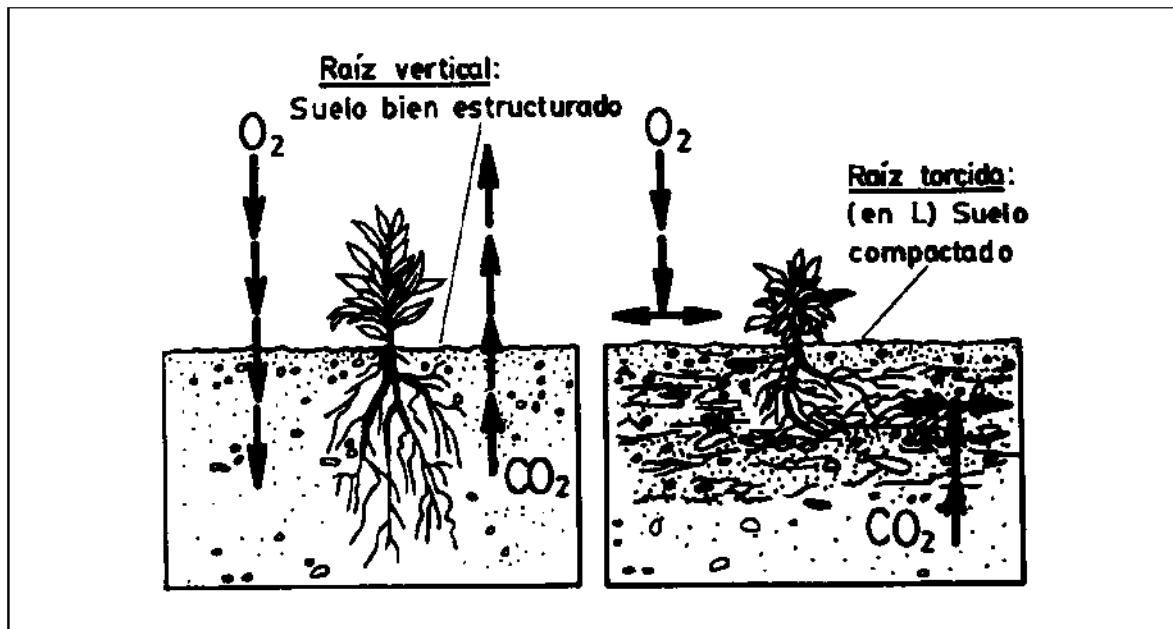


Imagen 6. Intercambio gaseoso entre el suelo y el exterior. Las raíces muestran el estado del suelo.

### ***Tipos de estructuras del suelo***

- **Estructura de grano simple:** La presentan los suelos arenosos pobres en materia orgánica (los suelos arcillosos, pesados, ricos en limo y pobres en materia orgánica) así como el polvo suelto de los caminos. No hay unidades estructurales definidas. La agregación es limitada o nula en suelos con escasa materia orgánica al igual que su poder retentivo.
- **Estructura laminar y prismática:** Estas estructuras se encuentran, por lo general, en suelos pesados, pobres en materia orgánica, biológicamente casi inertes. No ofrecen buenas condiciones para el desarrollo de las plantas. El suelo con estructura columna está muy seco por exceso de aeración, mientras que el de tipo laminar es muy húmedo debido a su mal drenaje. La estructura prismática y columnar también puede encontrarse en algunos subsuelos arcillosos. Se desarrolla por efectos de su desecación y contracción y forma rajaduras en el suelo. La estructura laminar se observa en algunos horizontes

superficiales de materiales finos, arenosos, salinos y carentes de estructura definida.

- **Estructura granular:** Es la estructura ideal llamada también "migajón". Los agregados son partículas redondeadas, humosas y porosas de 1 a 10 mm de diámetro y se denominan gránulos, si son mayores de 10 mm. Los suelos de estructura granular son suaves y sueltos lo que permite una adecuada movilización del aire y del agua. También pueden trabajarse fácilmente. Se originan en suelos ricos en materia orgánica

### ***El perfil del suelo***

El perfil del suelo está constituido por la sucesión de los horizontes y puede observarse al hacer un corte transversal en éste. Estos horizontes se diferencian por el color, contenido de materia orgánica, tamaño de partículas minerales etc. y se van denominando con letras mayúsculas.

- **Horizonte A:** Horizonte superficial, rico en materia orgánica, de color oscuro, de vida muy activa, con alta presencia de raíces (capa arable).
- **Horizonte B:** Horizonte intermedio, a menudo más compactado que el A, de coloración más clara (marrón rojizo a rojo), poca actividad biológica, con escasa presencia de raíces.
- **Horizonte C:** Roca no consolidada, escasa presencia de raíces sin vida.

Lo mencionado con anterioridad se muestra a continuación en la imagen 7.

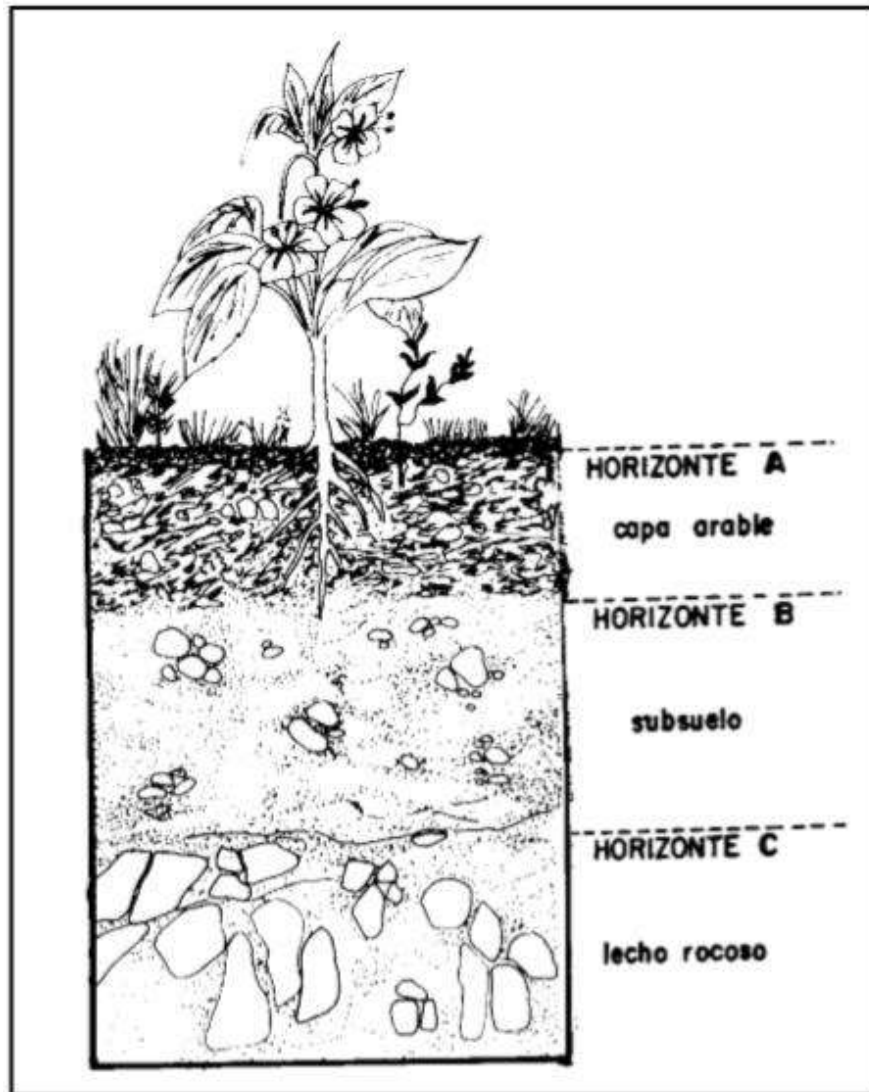


Imagen 7. Horizontes del suelo

### ***La importancia de los nutrientes***

Para que el funcionamiento metabólico de la planta sea adecuado y su desarrollo óptimo, es necesario que las sustancias nutritivas se encuentren en equilibrio, interactuando en forma armónica, un exceso o déficit ocasiona plantas débiles, susceptibles a plagas y enfermedades, baja calidad alimentaria y cosechas de poca durabilidad. En la imagen 8 se mencionan los síntomas relacionados a la deficiencia de nutrientes.

**Relación de las sustancias nutritivas de las plantas  
Síntomas de deficiencia de nutrientes**

**Suelo carente de Síntoma**

**Nitrógeno:** Hojas cloróticas (verde claro o amarillo), hojas más viejas se tornan amarillas en las puntas, los bordes de las hojas permanecen verdes, mientras que la nervadura central se pone amarillenta.

**Fósforo:** Plantas atrofiadas y de color verde oscuro, las hojas más viejas adquieren un color púrpura.

**Potasio:** Acortamiento excesivo de los entrenudos o hinchazones (por ejemplo, en gramíneas y maíz). Amarillamiento en la punta de las hojas que adquieren después un aspecto necrótico.

**Magnesio:** Clorosis general de las hojas más viejas, cuyas áreas internervales presentan rayas blancas.

**Cinc:** Manchas blancas en la parte basal de las hojas nuevas, a ambos lados de la nervadura central, los entrenudos aparecen acortados.

**Azufre:** Clorosis general de las hojas.

**Manganeso:** Las hojas nuevas están moteadas. En el caso del manzano aparecen manchas cloróticas en las áreas internervales de las hojas. Las zonas cloróticas se vuelven necróticas.

**Molibdeno:** En la familia de las Brassicas (col), las hojas toman forma acopada, enrollamiento de las hojas y de las puntas de éstas.

**Boro:** El centro de las raíces pivotantes se vuelve gris y se pudre, especialmente en nabos.

Imagen 8. Síntomas de deficiencia de nutrientes

**Los macronutrientes.** Se consideran así a los nutrientes que las plantas toman en mayor cantidad, pero no en forma aislada ni única. Entre éstos tenemos:

**Nitrógeno**

- ✓ Importancia: Componente de las proteínas y de compuestos orgánicos. Favorece el crecimiento. El 80% del aire es nitrógeno.

- ✓ Deficiencia: Bajos rendimientos, débil macollamiento, madurez prematura, hojas de color verde claro.
- ✓ Exceso: Poca resistencia frente a enfermedades y plagas, madurez retardada, calidad (concentración de amidas y nitratos) y capacidad reducida de almacenamiento; hojas de color verde azulado oscuro.

### **Fósforo**

- ✓ Importancia: Es parte elemental en compuestos proteicos de alta valencia. Influye en la formación de semillas y en la formación de raíces. Es regulador principal para todos los ciclos vitales de la planta.
- ✓ Deficiencia: Bajos rendimientos, deficiente macollamiento y malformación de raíces, retraso en la floración y la madurez.
- ✓ Exceso: Fijación del cinc en el suelo (bloqueo).

### **Potasio**

- ✓ Importancia: Es importante para la síntesis de proteínas e hidratos de carbono, influye en la firmeza del tejido (solidez del tallo), resistencia y calidad (conformación del fruto).
- ✓ Deficiencia: Bajo rendimiento y poca estabilidad de la planta, mala calidad y alta pérdida del producto cosechado, mayor necesidad de agua, bloqueo de la síntesis de proteínas (escaso efecto del nitrógeno), poca resistencia a heladas, enfermedades y plagas.
- ✓ Exceso: Bloqueo en la fijación del magnesio y del calcio, con la consecuente reducción de la calidad alimenticia de la planta.

### **Calcio**

- ✓ Importancia: Es parte fundamental en determinados compuestos, importante en la regulación del pH, fortalece las raíces y paredes de las células y regula la absorción de nutrientes.
- ✓ Exceso: Por ejemplo, el hierro puede ser fijado a pH muy bajo o muy alto.



### **Magnesio**

- ✓ Importancia: Es parte elemental en compuestos importantes como la clorofila, por ejemplo, actúa también como activador enzimático.
- ✓ Deficiencia: Hasta ahora sólo en casos aislados, principalmente en suelos livianos, pobres en cal, síntesis reducida de hidratos de carbono, clorosis internerval.

**Los micronutrientes.** Corresponden a esta categoría los elementos que las plantas absorben en menor cantidad, pero que son indispensables en los procesos vitales de las plantas. Actúan como catalizadores en muchas reacciones bioquímicas.

### **Hierro**

- ✓ Importancia: En la síntesis de la clorofila.
- ✓ Deficiencia: Muy raras veces, principalmente en los suelos con exceso de sal. Clorosis internerval (hojas jóvenes), hojas de color blanco.

### **Cloro**

- ✓ Importancia: Necesario para las plantas sólo en pequeñas cantidades. Algunas plantas toleran cantidades altas, por ejemplo, la remolacha, las coles, la espinaca y el apio. En grandes cantidades disminuye el desarrollo o la calidad de las plantas sensibles al cloro como, por ejemplo, la papa, pimiento, tabaco, frijol, frutas y especies forestales.

### **Manganeso**

- ✓ Importancia: Constituyente de la clorofila y activador enzimático.
- ✓ Deficiencia: Muy raras veces, principalmente en suelos livianos con exceso de azúcares.

### **Boro**

- ✓ **Importancia:** En el metabolismo de carbohidratos y translocación de azúcares.
- ✓ **Deficiencia:** Muy a menudo, principalmente en suelos livianos y alcalinos, sobre todo cuando están secos. Un exceso de boro es dañino para las plantas.

### **Cinc**

- ✓ **Importancia:** Importante en el metabolismo (formación de enzimas y clorofila).
- ✓ **Deficiencia:** Muy raras veces, principalmente en suelos que han recibido una sobredosis de cal y fertilizantes. En frutales, enanismo de las hojas. En plantas jóvenes de maíz produce un rayado blanco.

### **Cobre**

- ✓ **Importancia:** En el metabolismo (síntesis de enzimas y clorofila) y como componente en las plantas alimenticias y forrajeras.
- ✓ **Deficiencia:** Principalmente en suelos livianos, ricos en humus. Hojas jóvenes cloróticas, especialmente en la punta de los brotes y de las hojas.

### **Molibdeno**

- ✓ **Importancia:** Se encuentra en la nitrogenasa, necesaria para la fijación de nitrógeno (bacterias nodulares). Es importante para el género Brassica.
- ✓ **Deficiencia:** Raras veces, principalmente en suelos muy ácidos.
- ✓ **Exceso:** Nocivo, sobre todo para los animales.

### **Cobalto**

- ✓ **Importante para el desarrollo de las bacterias nodulares (fijación simbiótica de nitrógeno).**

(Vásquez, 1999)

## 2.8. AGENTES MICROBIOLÓGICOS DE LA DESCOMPOSICIÓN

Principales microorganismos identificados en muestras ambientales obtenidas durante el proceso de compostaje de residuos orgánicos son los mencionados en la tabla 1:

Tabla 1. Principales microorganismos identificados en el proceso de compostaje.

BACTERIAS	HONGOS	ACTINOMICETOS
<b>Acinetobacter</b>	Acremonium	<b>Actinomyces</b>
<b>Enterobacter</b>	Alternaria	<b>Nocardia</b>
<b>Escherichia coli</b>	Aspergillus flavus	<b>Thermoactinomyces</b>
<b>Klebsiella</b>	Aspergillus fumigatus	<b>Thermomonospora</b>
<b>Pseudomonas</b>	Cladosporium	
<b>Salmonella</b>	Fusarium	
<b>Serratia</b>	Geotrichum	
<b>Shigella</b>	Mucor	
<b>Staphylococcus</b>	Penicillium	
<b>Streptococcus</b>	Rhizopus	
<b>Yersinia</b>	<b>Stachybotrys</b>	

Las bacterias, los actinomicetos y los hongos son microorganismos que consumen los residuos directamente y se conocen como compostadores de primer nivel son ayudados por organismos mayores (gusanos, ácaros, escarabajos, larvas y moscas), que también consumen residuos directamente.

Los microorganismos de primer nivel de la descomposición son consumidos por los del segundo nivel tales como tijeretas, ácaros, escarabajos, protozoos y rotíferos. Los del tercer nivel consumen a los del primer y segundo nivel e incluyen ciempiés, escarabajos, hormigas y ácaros.

Los macroorganismos son los organismos visibles involucrados en transformar material orgánico en composta. Son más activos en las etapas maduras de compostaje, cuando las temperaturas descienden, pero la descomposición no es completa. Los microorganismos descomponen la materia orgánica químicamente, y los macroorganismos, que están más arriba en la cadena trófica, descomponen excavando, moliendo, masticando, digiriendo o batiendo.

Como ya se ha comentado, el compostaje es un proceso dinámico debido a las actividades combinadas de una amplia gama de poblaciones de bacterias, hongos y actinomicetos, ligados a una sucesión de ambientes.

Las bacterias se encuentran distribuidas por toda la pila, mientras que los hongos y los actinomicetos están situados a 5-15 cm de la superficie, dándole un aspecto grisáceo característico.

Una composta bien fermentada produce una esterilización de todo el residuo, tanto por la elevación de la temperatura como por la propia producción de fermentos (antibióticos) y la competencia por los nutrientes, que llegan a eliminar los microorganismos patógenos llegados con los residuos. La última fase, fase de maduración, curación, bioestabilización o enfriamiento dura varios meses.

(UGR, 2019)

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1. PROCESO

A continuación, se muestran los pasos que se llevaron a cabo para el proceso de elaboración de composta doméstica (imagen 9).



Imagen 9. Ciclo del compostaje

##### 3.1.1. CONSTRUCCIÓN DEL REACTOR COMPOSTERO

Para el armado del reactor compostero, se requirieron materiales y herramienta que se menciona a continuación en la tabla 2.

Tabla 2. Material y herramienta necesaria para la construcción del reactor compostero

<b>COMPOSTA DOMÉSTICA</b>	
<b>Material y herramienta necesarias para la construcción del reactor compostero.</b>	
<b>Cuchillo</b>	Para cortar el fondo de las cajas.
<b>Lazo</b>	Para sujetar las cajas.
<b>Tijeras</b>	Para cortar el lazo requerido.
<b>Bolsa negra de plástico</b>	Para cubrir la parte interior del reactor compostero y mantener los residuos y materiales de la composta juntos.
<b>Cajas de plástico</b>	Para la construcción del reactor compostero.

## REACTOR COMPOSTERO

### *Empleo de cajas*

A dos cajas se les retiro la base, quedando huecas y se colocaron una sobre otras como se muestra en la imagen 10.



Imagen 10. Cajas huecas apiladas

En la última caja se hizo una pequeña puerta en el centro para la salida del primer estrato hecho humus, de color negro a café oscuro, con propiedades coloidales e hidrofílicas, que se formaron durante el proceso de transformación de la materia orgánica. Corte central en la caja base para colocar una puerta de salida del producto final de la materia orgánica transformada como se muestra en la imagen 11.



**Imagen 11. Adecuación de puerta**

***Armado del reactor compostero***

Como se muestra en la imagen 12. las cajas fueron colocadas una sobre otra y sujetas con lazo para mantenerlas estables, éste será utilizado para almacenar las capas necesarias que formaran la composta.



**Imagen 12. Sujeción de cajas**



“COMPOSTA DOMÉSTICA A BASE DE ARENA COMO MEJORADOR DE  
SUELOS ALTAMENTE PLÁSTICOS”

---

Se colocó una bolsa negra dentro de las cajas apiladas (al cual llamaremos reactor compostero) y se le hicieron agujeros para permitir el paso del oxígeno (aeración) suficiente. (Imagen 13) La finalidad de colocar la bolsa es para adaptar las condiciones y favorecer la actividad de los microorganismos.



**Imagen 13. Colocado de protección plástica**

Se adaptó una tapa en la parte superior del reactor compostero que funciona como un medio para conservar el grado de humedad adecuado y una temperatura óptima en su interior, así mismo mantendrá cubiertas las capas de residuos sólidos orgánicos, limos, hojas secas y verdes del exterior (Imagen 14), evitando el ingreso de animales e insectos que alteren o afecten el reactor.



**Imagen 14. Tapa de compostero**



Finalizada la elaboración del reactor compostero, éste fue colocado en una zona donde el sol lo ilumina por la mañana, como se muestra en la imagen 15 de lado izquierdo y al medio día se encuentra bajo la sombra (imagen 16), lo que le permitirá generar el proceso de descomposición de la materia adecuadamente.



Imagen 15. Reactor compostero bajo el sol



Imagen 16. Reactor compostero al medio día,  
bajo la sombra

### 3.1.2. RECOLECCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS

Los materiales orgánicos utilizados para la elaboración de la composta fueron recolectados durante la actividad diaria en el hogar, con frecuencia se obtenían cascaras de plátano, papaya, melón, restos de verduras como calabacita, papa, lechuga y zanahoria. En la imagen 17 se muestran los residuos orgánicos requeridos en el primer estrato y en la imagen 18 los empleados en el segundo estrato.

“COMPOSTA DOMÉSTICA A BASE DE ARENA COMO MEJORADOR DE  
SUELOS ALTAMENTE PLÁSTICOS”

---

Los estratos están conformados por una capa de arena, residuos orgánicos, hojas verdes y secas y una última capa de arena que cubre a la materia orgánica y hojas secas y verdes.



**Imagen 17. Residuos orgánicos del primer estrato**



**Imagen 18. Residuos orgánicos del segundo estrato**

### **3.1.3. COSECHA**

La cosecha es el momento más esperado y gratificante de todo el proceso. En función del tipo de vegetales depositados, la cosecha de la composta se hará en distintos momentos, hay restos que se deshacen en pocos días y los que tardan meses.

Si se quiere saber el momento en el que la composta está madura, hay que tomar un puñado con las manos y comprobar si huele a tierra húmeda, si se trata de una tierra de color negro o marrón oscuro, que mancha muy poco las manos porque no está muy húmeda, y si no se reconoce ninguno de los restos que se han depositado en el reactor compostero, excepto ramas y huesos de frutos, que se separarán con una criba y se introducirán de nuevo en el reactor compostero para que continúen su proceso más lento y vuelvan a servir de estructurante.

### **3.1.4. ANÁLISIS PARA LA DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS**

Durante éste proceso se llevaron a cabo parámetros fisicoquímicos como son el pH, temperatura, humedad, DQO, nitrógeno, carbono y fósforo; los cuales permiten conocer la calidad de la composta y las modificaciones y ajustes que serían recomendables llevar a cabo para corregir o mejorar el proceso de compostaje, siguiendo las especificaciones de las Normas Mexicanas.

Las normas empleadas para el análisis de los parámetros son las siguientes:

- **pH.** NMX-AA-25-1984 “PROTECCIÓN AL AMBIENTE-CONTAMINACIÓN DEL SUELO-RESIDUOS SÓLIDOS – DETERMINACION DEL pH – MÉTODO POTENCIOMÉTRICO”

- **Temperatura.** NMX-AA-007-SCFI-2013 “ANÁLISIS DE AGUA – MEDICIÓN DE LA TEMPERATURA EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS-MÉTODO DE PRUEBA”
- **Humedad.** NMX-AA-16-1984 “PROTECCIÓN AL AMBIENTE– CONTAMINACIÓN DEL SUELO - RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES – DETERMINACIÓN DE HUMEDAD”
- **Demanda Química de Oxígeno (DQO).** NMX-AA-030/2-SCFI-2011 “ANÁLISIS DE AGUA – DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS – MÉTODO DE PRUEBA – PARTE 2 – DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO – MÉTODO DE TUBO SELLADO A PEQUEÑA ESCALA”
- **Nitrógeno.** MÉTODO ESPECTROFOTOMÉTRICO “HACH”
- **Carbono.** NMX-FF-109-2007 HUMUS DE LOMBRIZ (LOMBRICOMPOSTA) – ESPECIFICACIONES Y METODOS DE PRUEBA
- **Fósforo.** MÉTODO ESPECTROFOTOMÉTRICO “HACH”
- **Relación carbono/Nitrógeno.** NMX-FF-109-SCFI-2007 HUMUS DE LOMBRIZ (LOMBRICOMPOSTA) – ESPECIFICACIONES Y METODOS DE PRUEBA
- **Límites de consistencia del suelo.** NMX-C-493-ONNCCE-2018 Industria de la Construcción - Geotecnia - Límites de Consistencia de Suelos - Método de Ensayo.

### 3.1.5. EVALUACIÓN

Finalizando con los análisis para determinar los parámetros fisicoquímicos que permiten dar a conocer la calidad de composta doméstica que fue producida, serán comparados los valores generados con la Norma Mexicana NMX-FF-109-SCFI-2007, para ser evaluado cada parámetro (pH, temperatura, humedad,

Demanda Química de Oxígeno, nitrógeno, carbono y fósforo) y determinar el rango de calidad y cumplimiento de la misma.

Para conocer la plasticidad de la arcilla y de la composta se determinaron los límites de consistencia del material en forma individual y de la combinación de ambos materiales (composta + arcilla altamente plástica). El procedimiento y resultados de estas pruebas se llevaron a cabo conforme la Norma Mexicana NMX-C-493-ONNCCE-2018.

## IV. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

### 4.1. MATERIALES PARA LA ELABORACIÓN DE COMPOSTA DOMÉSTICA

Los materiales necesarios para la producción de composta doméstica que fueron requeridos se mencionan en la tabla 3.

Tabla 3. Materiales necesarios para la producción de composta doméstica

<b>COMPOSTA DOMÉSTICA</b>	
<b>Materiales necesarios para la producción de composta doméstica.</b>	
<b>Grava</b>	Para captar atreves de ella los lixiviados generados.
<b>Arena</b>	Para cubrir los residuos orgánicos.
<b>Cubeta</b>	Para almacenar la arena cribada que pasa por la malla mosquitera.
<b>Malla mosquitera</b>	Para cribado de la arena.
<b>Agua de toma municipal</b>	Para proporcionar humedad a la composta.
<b>Guantes de látex</b>	Para la manipulación de la composta.
<b>Varita de madera</b>	Para generar la aireación dentro del reactor compostero.
<b>Bolsa negra de plástico</b>	Para cubrir el reactor compostero en temporadas de lluvia.
<b>Hojas verdes</b>	Para el contenido de nitrógeno
<b>Hojas cafés</b>	Para el contenido de fósforo



#### 4.2. FILTRO PARA DRENAJE, SALIDA DE LIXIVIADOS

Se coloca una primera capa de grava con una altura de 5 cm y una segunda capa de arena con una altura de 5 cm (imagen 19-20) para captar a través de ella los lixiviados generados de la descomposición de la materia orgánica colocada en las capas superiores y así evitar la generación de malos olores y la proliferación de insectos.



Imagen 19. Grava y Arena



Imagen 20. Sistema de drenaje para lixiviados

### 4.3. PRIMERA CAPA DE REACTOR COMPOSTERO

Antes de colocar las capas en el reactor se cribó la arena para obtener limos (Imagen 21-22) y posterior a ello se comenzó con la primera capa con un espesor de 5 cm que contiene, hojas secas y verdes + arena (Imagen 23 y 24) las cuales actúan como fuente de carbono y nitrógeno que contribuyen a la degradación de la materia orgánica (RSO).

La arena se cribó para obtener limos de manera que la partícula sea más fina y evitar la pérdida de humedad, así mismo se evitará la pérdida de calor ya que estas variables son importantes controlar para el adecuado proceso de la descomposición de la materia orgánica.

#### *La arena se cribó para obtener limos*



Imagen 21. Cribado de arena



Imagen 22. Cribado de material granular (arenas)



**Imagen 23. Conformación de la primera capa de la composta**



**Imagen 24. Capa de arena**

En la segunda capa se añadieron 5 cm de residuos sólidos orgánicos (RSO) + arena como se muestra en la imagen 25 y 24, ésta capa en especial debe permanecer cubierta por los limos y las hojas secas o verdes para que las fuentes de carbono y nitrógeno sean procesadas por los microorganismos y así con el constante humedecimiento y la oxigenación que se le aplique se genere la descomposición de los residuos sólidos orgánicos y se produzca la composta.



Finalizando con la tercera capa de 5 cm de espesor que contiene, hojas secas y verdes + arena (Imagen 24 y 26), las hojas secas son biodegradables y una fuente de carbono, de manera que aportan este componente fundamental para poder producir un buen preparado orgánico. La desventaja del alto contenido de carbono en las hojas secas es el ritmo lento al descomponerse. Las hojas verdes aportan nitrógeno necesario para el metabolismo microbiano importante para la degradación de la materia orgánica.



Imagen 25. Capa de residuos sólidos orgánicos



Imagen 26. Tercera capa de hojas verdes

#### 4.4. HUMEDAD

El agua es uno de los componentes principales contenidos en el reactor compostero y en ocasiones, su presencia puede llegar a no ser importante, dando lugar a productos excesivamente mojados o bien resecos.

La humedad es un parámetro que se encuentra entre el 50-70% en la elaboración de composta recomendada por la Norma Mexicana NMX-FF-109-SCFI-2007, por lo que el humedecimiento de ésta se llevó a cabo 2 veces o más por semana (Imagen 27), necesario para evitar que se seque, ya que sin la humedad adecuada la actividad microbiana no puede llevarse a cabo y por ende no habría descomposición de la materia orgánica.



Imagen 27. Humedecimiento de la composta

#### 4.5. AIREACIÓN

La aireación es imprescindible para la descomposición de la materia orgánica, por lo que debe asegurarse un suministro de oxígeno en el interior que sea suficiente para cubrir la demanda de los microorganismos.

La aireación debe ser forzada ya que la aireación natural no es suficiente para aportar oxígeno a toda la masa, para ello se realizaron orificios en todas las caras del reactor para proporcionar una aireación continua (Imagen 28).



Imagen 28. Aireado de la composta

#### 4.6. REVISIÓN DEL PROCESO DE COMPOSTAJE

Durante el proceso de cuidado de la composta, es importante que esté libre de olores desagradables y que comience a presentar color característico entre negro o café oscuro.

Se revisó la composta luego de algunas semanas (Imagen 29) y no presento mal olor, la coloración fue negra y cuando se humedecía sólo olía a tierra mojada. Al reactor compostero lo ilumina el sol por la mañana y al medio día se encuentra bajo la sombra, lo que le permite conservar un grado de humedad óptimo para la actividad microbiana.



Imagen 29. Monitoreo del proceso de compostaje



#### **4.7. PRODUCTO FINAL DE LA PRIMERA CAPA DE COMPOSTA**

Idealmente, los productos finales de un sistema de compostaje bien manejado son dióxido de carbono, vapor de agua, calor y materia orgánica estabilizada, aunque la proporción de éstos varía con la disponibilidad de carbono y nitrógeno en el residuo y con las condiciones en que se desarrolla el proceso en cada etapa del mismo.

Después de un periodo de dos a tres meses en los que se llevó a cabo el proceso de compostaje para la degradación y obtención del producto final se tiene como resultado una composta de color negro, con olor a tierra húmeda, ausente de olores pestilentes (Imagen 30).



**Imagen 30. Producto final (composta)**



#### **4.8. TEMPORADA DE LLUVIA**

Las temporadas de lluvia que se requirió del uso de la bolsa de plástico negra para cubrir el reactor compostero fue durante el mes de mayo, junio, julio y agosto, con la finalidad de conservar la humedad y la temperatura necesaria para que éste continuara con el proceso de degradación de la materia orgánica, como se muestra en la imagen 31.

Realizando monitoreo de la humedad y temperatura constante en el reactor compostero, se observó que cubrir con el plástico ayudaba a conservar de manera óptima y segura los factores requeridos para los procesos de descomposición que lleva a cabo la composta.



**Imagen 31. Protector plástico contra lluvias**

## **V. PRUEBAS DE LABORATORIO**

### **5.1. GENERALIDADES**

Se llevaron a cabo distintos análisis para determinar los parámetros fisicoquímicos que representaran el pH, temperatura, humedad, Demanda Química de Oxígeno (DQO), nitrógeno, carbono y fósforo, contenido en el proceso de compostaje. Con la finalidad de mejorar suelos altamente plásticos se realizó una combinación de materiales (composta + arcilla altamente plástica), en el cual se llevaron a cabo pruebas para determinar el límite líquido, plástico y el índice de plasticidad.

Conociendo los parámetros requeridos según la norma y los resultados obtenidos en las pruebas, éstos fueron comparados para revisar los aciertos que se tuvieron y los errores que debían ser corregidos y mejorados para optimizar el proceso en la elaboración de composta doméstica a base de arena.

### **5.2. DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL HIDRÓGENO (pH)**

El valor de pH de las disoluciones acuosas es de gran importancia para definir la calidad de las mismas.

El pH presente en estas pruebas debe tener valores de 7 o próximos, para que el proceso de compostaje se encuentre en un estado neutro con relación a la acidez y alcalinidad. Si su valor supera el pH de 7 se considerará como una solución alcalina o básica y en su defecto si el valor es menor serán acidas.

Para determinar el pH contenido en la composta, se siguió el procedimiento indicado en la NMX-AA-25-1984 “PROTECCIÓN AL AMBIENTE-

## CONTAMINACIÓN DEL SUELO-RESIDUOS SÓLIDOS – DETERMINACION DEL pH – MÉTODO POTENCIOMÉTRICO”.

### **APARATOS Y EQUIPO**

- ✓ Balanza analítica con sensibilidad de 0.001 g.
- ✓ Potenciómetro con compensador de temperatura, electrodo de vidrio y electrodo de referencia.
- ✓ Agitador magnético con magnetos recubiertos de teflón o agitador mecánico.
- ✓ Termómetro de vidrio con escala de 263 K a 393 K (-10°C a 120°C).
- ✓ Vaso de precipitado de 250 ml.
- ✓ Probeta graduada 100 ml.

### **MATERIALES**

- ✓ Muestra representativa de composta doméstica.
- ✓ Agua destilada.

### **OBTENCION DE LA MUESTRA**

De la muestra preparada como se establece en la Norma Mexicana NMX -AA-052 se toman 20 gr. para realizar la determinación por duplicado.

### **PROCEDIMIENTO**

- ✓ Se toma una muestra representativa de la composta y se pesan 10 grs. de material sobre la balanza analítica, ésta es vertida en un vaso de precipitado de 250 ml. como se muestra en la imagen 32.
- ✓ Se miden 90 ml. de agua destilada en una probeta (Imagen 33).
- ✓ En el vaso de precipitado donde se encuentra la muestra, se vierten los 90 ml. de agua destilada para ser diluida por medio de un agitador dinámico que es colocado en el interior del vaso de precipitado y éste es diluido a través del agitador termodinámico, realizado la operación durante 10 minutos. Como se observar en la imagen 34 y 35.

“COMPOSTA DOMÉSTICA A BASE DE ARENA COMO MEJORADOR DE  
SUELOS ALTAMENTE PLÁSTICOS”

---

- ✓ Posteriormente la disolución se deja en reposo durante 30 min. y se prepara el potenciómetro, limpiando el electrodo con agua destilada para ser introducido en la disolución y medir el potencial hidrogeno. Se tomó la lectura proporcionada por el potenciómetro y fue registrada (Imagen 36).
- ✓ Se rectificaron valores con las tiras reactivas de pH (Imagen 37).



Imagen 32. Pesado de la muestra de composta

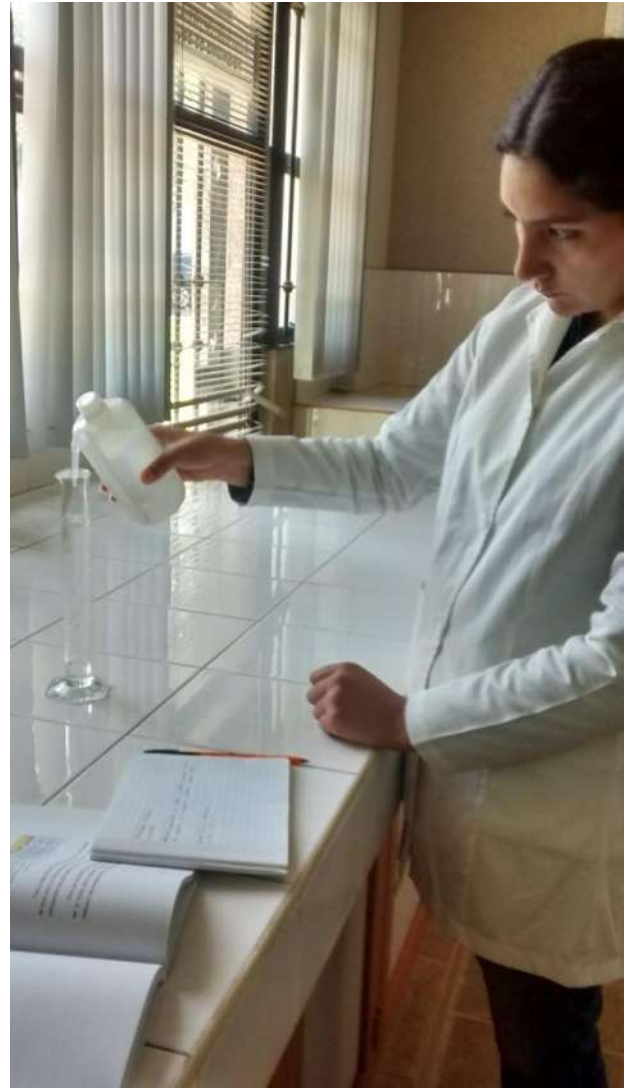


Imagen 33. Medición de agua destilada

“COMPOSTA DOMÉSTICA A BASE DE ARENA COMO MEJORADOR DE  
SUELOS ALTAMENTE PLÁSTICOS”

---



**Imagen 34. Composta + agua destilada**



**Imagen 35. Mezclado de la muestra**



Imagen 36. Medición de pH (potenciómetro)



Imagen 37. Medición de pH (tiras reactivas)



### 5.3. DETERMINACIÓN DE LA TEMPERATURA

Las pilas de composta pueden tener dimensiones relativamente grandes. En el compostaje doméstico, la temperatura de una pila de composta no es uniforme, es decir, que hay diferencias entre la superficie, la mitad y la base de la misma. Esto puede estar relacionado la cantidad de oxígeno que le llega, siendo menor en la base de la misma.

En esta gráfica podemos ver una representación visual de la diferencia de temperaturas según la profundidad a lo largo del tiempo del proceso en un sistema de compostaje doméstico comercial llamado HOTBIN que se muestra en la imagen 38.

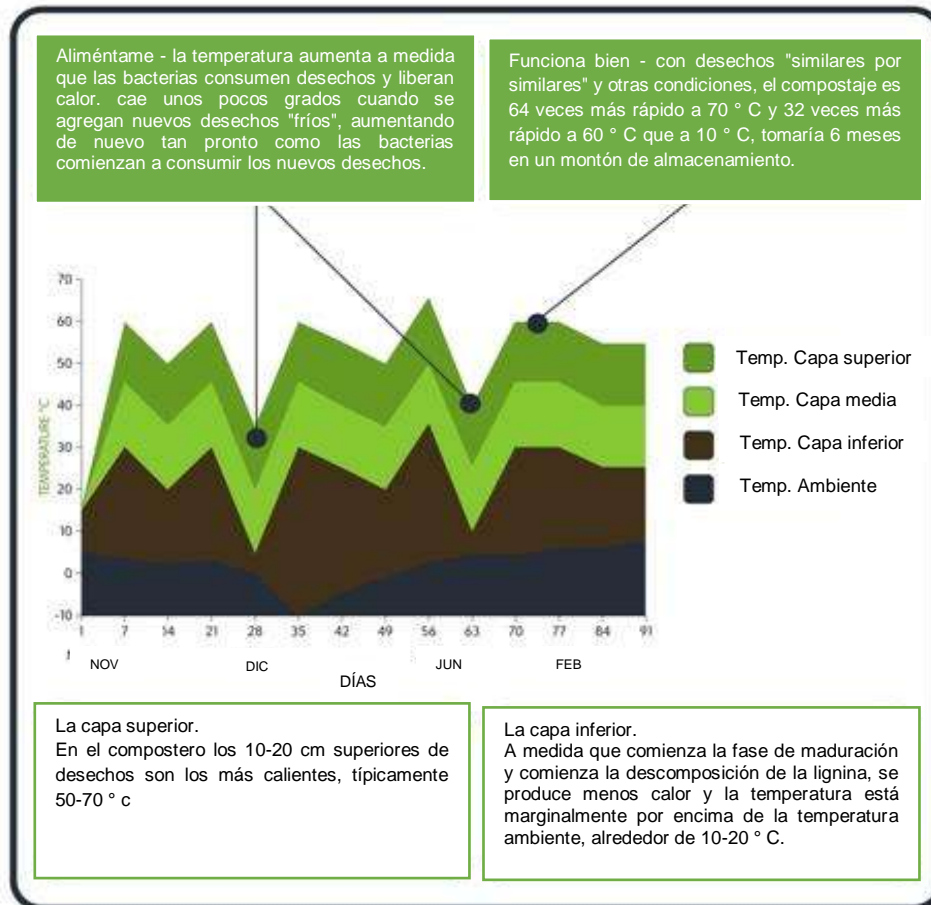


Imagen 38. Diferencia de temperaturas en distintas profundidades

La temperatura de la composta doméstica fue registrada una vez por semana los días miércoles, dos veces al día. Con la finalidad de obtener resultados con variaciones en sus lecturas, que indiquen el aumento o disminución de la temperatura cuando el reactor compostero se encuentra en el sol y bajo la sombra.

Las lecturas fueron medidas cuando el sol caía sobre el reactor compostero, alrededor de la 03:00 pm y por la tarde noche cuando el reactor compostero se ha quedado bajo la sombra realizando la prueba a las 8:00 pm.

El proceso de medir la temperatura se realizó siguiendo los procedimientos de la indicados en la Norma Mexicana NMX-AA-007-SCFI-2013. ANÁLISIS DE AGUA – MEDICIÓN DE LA TEMPERATURA EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA.

#### ***MATERIAL Y EQUIPO***

- ✓ Reactor compostero.
- ✓ Termómetro digital.

#### ***RECOLECCIÓN DE MUESTRAS***

- ✓ Para esta medición no se requiere preparación ni conservación de las muestras.
- ✓ Las determinaciones de temperatura deben efectuarse de inmediato en el lugar de muestreo.

#### ***PROCEDIMIENTO***

- ✓ Con el fin de tener una temperatura base inicial, se comienza midiendo la temperatura ambiente a la sombra y al sol a un costado del reactor compostero, permitiendo al termómetro que se estabilice durante 3 minutos.



“COMPOSTA DOMÉSTICA A BASE DE ARENA COMO MEJORADOR DE  
SUELOS ALTAMENTE PLÁSTICOS”

- ✓ Se coloca el termómetro por los orificios laterales del reactor compostero, con la finalidad de hacer dos lecturas, el termómetro se colocó de manera horizontal en el fondo de la composta y en la parte central. Se dejó estabilizar el termómetro en un periodo de 2 a 3 minutos.
- ✓ Por último, se prepara el termómetro nuevamente para tomar lecturas ambientales a un costado del reactor compostero para verificar si es correcta la lectura. Observando variaciones mayores de 1°C se realizarían nuevamente las mediciones de temperatura repitiendo el proceso inicial.

Como se puede observar en la tabla 4, la lectura de las temperaturas varía si el sol se encuentra directamente en el reactor compostero y cuando este está bajo la sombra.

**Tabla 4. Temperaturas registradas**

<b>TEMPERATURA DE LA COMPOSTA A BASE DE ARENA</b>						
<b>DÍA</b>	<b>MES</b>	<b>AÑO</b>	<b>TEMPERATURA AMBIENTE °C</b>	<b>HORA</b>	<b>TEMPERATURA EN EL DÍA</b>	
					<b>CENTRAL</b>	<b>LATERAL</b>
5	Junio	2019	25	10:15	32.5	31.2
12	Junio	2019	20	10:30	36.1	34.8
19	Junio	2019	22	10:10	29.3	27.6
26	Junio	2019	24	10:50	37.6	33.4
3	Julio	2019	19	10:18	32.1	31.2
10	Julio	2019	28	10:25	34.1	30.5
17	Julio	2019	23	10:33	30.6	29.2
24	Julio	2019	18	10:45	28.3	26.7
31	Julio	2019	15	10:50	25.1	22.1
<b>DÍA</b>	<b>MES</b>	<b>AÑO</b>	<b>TEMPERATURA AMBIENTE °C</b>	<b>HORA</b>	<b>TEMPERATURA EN LA TARDE</b>	
					<b>CENTRAL</b>	<b>LATERAL</b>
5	Junio	2019	10	08:10	18.5	15.9
12	Junio	2019	13	08:25	21.1	19.1
19	Junio	2019	12	08:50	20.8	16.6
26	Junio	2019	16	08:18	25.2	22.4
3	Julio	2019	14	08:08	23.1	20.8
10	Julio	2019	10	08:45	17.3	15.1
17	Julio	2019	18	08:36	26.6	25.3
24	Julio	2019	13	08:15	20.9	17.6

#### **5.4. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA COMPOSTA Y MONITOREO DEL AGREGADO DE AGUA**

Es importante mantener la humedad en torno al 60 % durante las primeras fases del proceso, ya que los organismos encargados de la descomposición de los materiales necesitan un cierto contenido en agua para desarrollar su actividad.

Durante el proceso de compostaje hay que controlar la temperatura. En las primeras fases del proceso la temperatura debe alcanzar valores próximos a los 65°C. El humedecimiento de la composta doméstica se llevó a cabo 2 veces o más por semana (Imagen 39), necesario para evitar que se seque, ya que sin la humedad adecuada la actividad microbiana no puede llevarse a cabo y por ende no habría descomposición de la materia orgánica.



**Imagen 39. Humedecimiento de la composta**

Para conocer el contenido de humedad presente en la composta se siguió el método desarrollado en la Norma Mexicana NMX-AA-016-1984. PROTECCION AL AMBIENTE-CONTAMINACION DEL SUELO-RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES-DETERMINACION DE HUMEDAD.

### **APARATOS Y EQUIPO**

- ✓ Balanza analítica con sensibilidad de 0.001g
- ✓ Espátula para balanza
- ✓ Cápsula de cerámica
- ✓ Guantes
- ✓ Desecador con deshidratante
- ✓ Equipo usual de laboratorio

### **PROCEDIMIENTO**

- ✓ El horno de secado se prepara a una temperatura de 120°C y se colocó el molde dentro del mismo durante 30 min. Posterior a esta acción se sujetó el molde con pinzas para ser manipulado y evitar añadir humedad con las manos (Imagen 40).
- ✓ El molde se dejó enfriar hasta conseguir la temperatura ambiente, en seguida se llevó al desecador durante 30 min. (Imagen 41).
- ✓ Se pesó el molde en una balanza digital analítica con sensibilidad de 0.0001 gr. como se muestra en la imagen 42, al llegar a su estabilización se tomó la lectura como peso del molde. Para comprobar que el molde se encuentra a peso constante se coloca nuevamente en el desecador por 5 minutos y es pesado nuevamente en la balanza analítica, éste nuevo peso no debe variar al anterior menos de 0.5 mg.
- ✓ Se toma una muestra representativa de composta doméstica de 20 +/- 10 grs. Como se representa en la imagen 43. El molde es colocado en la balanza siguiendo el punto anterior y se colocan 20 +/- 10 gr de muestra, se deja estabilizar, el peso obtenido en esta segunda operación es tomado como

peso húmedo de la muestra + el molde. Para fines de cálculo, el peso húmedo de la muestra + el molde es restado el peso del molde y registrado como G.

- ✓ Previamente calentado el horno de secado a una temperatura de 120°C, se ingresa el molde con la muestra y se mantiene dentro durante 120 min.
- ✓ Transcurridos el tiempo de 120 min, la muestra se deja enfriar a temperatura ambiente dentro del horno de secado. Obtenida la temperatura requerida, se colocó el molde dentro del desecador durante 30 min
- ✓ Por último, se toma una tercera lectura en la balanza digital de precisión que llamaremos peso seco muestra + molde. Los cálculos necesarios se llevaron a cabo haciendo una resta entre el peso seco muestra + molde y el peso obtenido del molde, registrando este resultado como G2.
- ✓ Las diferencias máximas permisibles no deben superar el 1%, en su defecto se recomienda repetir la determinación.

La fórmula empleada para realizar las operaciones necesarias y determinar el porcentaje de humedad de la composta doméstica es la siguiente:

$$H (\%) = \frac{G - G1}{G} * 100$$

Donde:

H = humedad en porcentaje (%).

G = peso húmedo de la muestra en gr.

G1 = peso seco de la muestra en gr.

“COMPOSTA DOMÉSTICA A BASE DE ARENA COMO MEJORADOR DE  
SUELOS ALTAMENTE PLÁSTICOS”

---



**Imagen 40. Evaporación de la muestra**



**Imagen 41. Enfriado de crisol + muestra**

“COMPOSTA DOMÉSTICA A BASE DE ARENA COMO MEJORADOR DE  
SUELOS ALTAMENTE PLÁSTICOS”

---



**Imagen 42. Secado de la muestra**



**Imagen 43. Pesado de la muestra**



## 5.5. PRUEBAS DE DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO), NITRÓGENO Y FÓSFORO.

Para realizar las pruebas de la Demanda Química de Oxígeno, nitrógeno y fósforo, fue necesario producir una solución con una muestra representativa de composta doméstica, como se describe a continuación:

- ✓ Tomar una muestra representativa de la composta y pesar 1 grs. y verterla en un vaso de precipitado de 250 ml y colocarlo sobre la balanza analítica para ser pesado, como se muestra en la imagen 44.
- ✓ Posteriormente se miden 100 ml de agua destilada en una probeta (Imag. 45).
- ✓ En el vaso de precipitado donde se encuentra la muestra, se vierten los 100 ml de agua destilada para ser mezclada por medio de un agitador termodinámico que es colocado en el interior del vaso de precipitado y éste es mezclado a través del termoagitador, realizado la operación durante 10 minutos. Como se observar en la imagen 46 y 47. La disolución se deja en reposo durante 30 min.



Imagen 44. Pesado de muestra



Imagen 45. Medición de agua destilada



Imagen 46. Composta + agua destilada

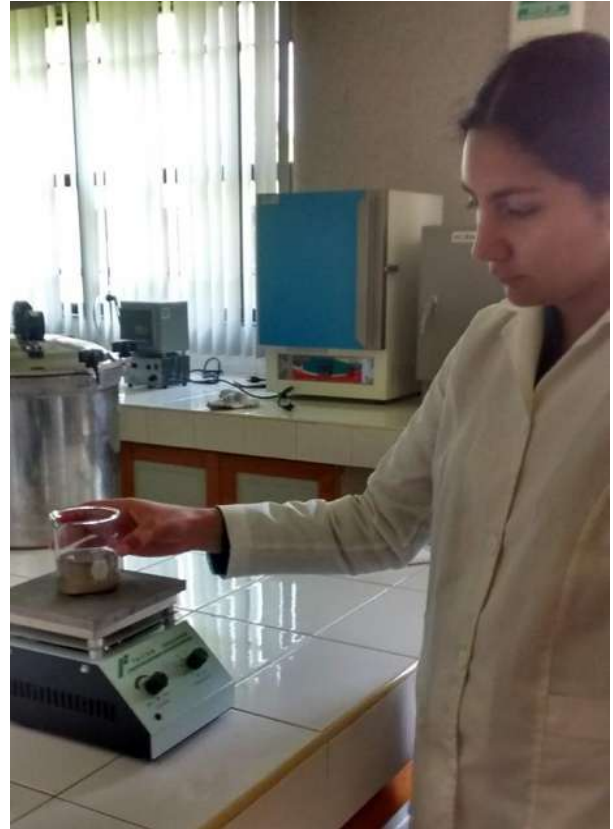


Imagen 47. Mezclado de la muestra

## 5.6. DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)

La demanda química de oxígeno es una medida del oxígeno requerido para oxidar todos los compuestos presentes en el agua, tanto orgánicos como inorgánicos, por medio de la acción de agentes fuertemente oxidantes en un medio ácido y se expresa en miligramos de oxígeno por litro ( $\text{mg O}_2/\text{L}$ ). La materia orgánica se oxida hasta dióxido de carbono y agua, mientras el nitrógeno orgánico se convierte en amoníaco.



La determinación de éste parámetro de llevo a cabo conforme lo indica la Norma Mexicana NMX-AA-030/2-SCFI-2011. ANÁLISIS DE AGUA - DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA - PARTE 2 - DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO – MÉTODO DE TUBO SELLADO A PEQUEÑA ESCALA.

#### ***MATERIAL Y EQUIPO***

- ✓ Tubo de ensaye de 10 ml, con tapón roscado.
- ✓ Pipeta.
- ✓ Propipeta.
- ✓ Espectrofotómetro.

#### ***REACTIVOS***

- ✓ Solución concentrada ácido sulfúrico - sulfato de plata.
- ✓ Solución de digestión A o B para DQO.

#### ***PARTE EXPERIMENTAL***

##### ***FUNDAMENTO***

##### ***MÉTODO ESPECTROFOTOMÉTRICO***

El método de medición utilizado para la determinación de este indicador, es la digestión de una muestra con dicromato de potasio en medio fuertemente ácido, en presencia de un catalizador y posterior titulación del exceso de oxidante con un agente reductor o medición espectrofotométrica de la intensidad del color remanente del dicromato de potasio.

### **PROCEDIMIENTO**

- ✓ Verificar los tubos para su desempeño óptico (cuando la absorbancia se mide directamente en el tubo de digestión).
- ✓ Precalentar el digestor de DQO a 150°C.
- ✓ Colocar cuidadosamente en los tubos de reacción 3.5 ml de solución concentrada ácido sulfúrico – sulfato de plata.
- ✓ Agregar cuidadosamente en los tubos de reacción 1.5 ml de solución de digestión A.
- ✓ Mezclar cuidadosamente tomando del tapón la solución resultante invirtiendo varias ocasiones de manera suave. En este proceso la solución se calentará, por lo que se debe tener sumo cuidado en la manipulación de los tubos para evitar posibles quemaduras. Como se muestra en la imagen 48.
- ✓ Homogenizar la muestra al analizar y añadir cuidadosamente 2.5 ml, cerrar el tubo inmediatamente para evitar que los vapores formados escapen. Verificar que esté cerrado el tubo herméticamente. Mezclar nuevamente de forma cuidadosa.
- ✓ Siguiendo el procedimiento descrito con anterioridad, preparar un blanco para su lectura, control y calibración en el espectrofotómetro.
- ✓ Colocar el tubo a analizar en el reactor de DQO, y reflejar a 150°C por un periodo de 2 horas (Imagen 49).
- ✓ Retirar el tubo del digestor y dejar que enfríe a temperatura ambiente, permitiendo que cualquier precipitado sedimente.
- ✓ En el espectrofotómetro seleccionar el programa a utilizar el cual es 435.
- ✓ Ajustar el espectrofotómetro con el blanco, marcar en cero.
- ✓ Insertar la muestra y tomar dos o tres lecturas, promediar resultados.



**Imagen 48. Mezclado de la muestra + reactivos**



**Imagen 49. Digestión de la muestra**

## **5.7. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE NITRÓGENO TOTAL EN LA COMPOSTA DOMÉSTICA**

Este elemento se presenta muchas veces como un limitante en el desarrollo de las plantas, porque es removido del suelo en cantidades superiores al resto de los nutrientes y el nivel en el mismo es muy bajo.

Los vegetales la emplean en la formación de proteínas, ácidos nucleicos, amino azúcares y otras moléculas muy importantes de la célula. Favorece el desarrollo vegetal, el tamaño de los granos, el porcentaje de proteínas y la absorción de fósforo y potasio, modifican la composición química y la calidad de los vegetales.

La fuente principal de nitrógeno proviene de la atmosfera donde está en una proporción del 79%.

La mayor reserva de nitrógeno (N) la constituyen las rocas primarias (98% de todo el nitrógeno) la atmosfera, otras rocas y sedimentos. El reservorio más pequeño lo constituye el suelo.

El nitrógeno forma parte de todas las proteínas, aminoácidos, moléculas complejas del código genético (Mirabelli E. pág. 40, 41 2008).

Según la Norma Mexicana NMX-FF-SCFI-2007 nos indica que el porcentaje de nitrógeno se encuentra del 1 a 4%.

### **PROCEDIMIENTO**

- ✓ En un tubo limpio se agrega 1.3 ml de muestra + 1.3 ml de reactor A (hidróxido de sodio) + una pastilla B (Imagen 50).
- ✓ Se prepara el reactor a una temperatura de 100°C durante 1 hora.
- ✓ En la solución es añadida una microcápsula C y mezclada cuidadosamente hasta que la pastilla haya desaparecido.
- ✓ Se transfieren 0.5 ml de solución en el tubo que contiene las tres muestras.
- ✓ Se agrega lentamente la solución D y rápidamente se reemplaza la tapa, es mezclada suavemente hasta disolver la pastilla que contiene la tapa.

- ✓ Se mantiene en reposos durante 15 min. Posterior a esta acción se coloca dentro del espectrofotómetro el tubo sedimentado, para proceder con la lectura de nitrógeno contenido. Como se muestra en la imagen 51.



Imagen 50. Adición de reactivos para determinación de N



Imagen 51. Digestión de N

El porcentaje de nitrógeno es calculado con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ NITRÓGENO TOTAL} = \frac{\text{VALOR OBTENIDO DE NITRÓGENO } \left(\frac{\text{mg}}{\text{l}}\right)}{\text{VALOR OBTENIDO DQO } \left(\frac{\text{mg}}{\text{l}}\right)} * 100$$

## **5.8. PESO CONSTANTE**

Uno de los principales objetivos para determinar los sólidos fijos, es obtener una medida de la cantidad de materia orgánica presente. Esta prueba consiste en un procedimiento de combustión, en el cual la materia orgánica se convierte en CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O. La temperatura se controla para prevenir la descomposición y volatilización de las sustancias inorgánicas. La pérdida de peso se interpreta en términos de materia orgánica.

Este análisis se llevó a cabo según la Norma Mexicana NMX-AA-0.34-SCFI-2001. “ANÁLISIS DE AGUA – DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS Y SALES DISUELTAS EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS – MÉTODO DE PRUEBA”.

### ***MATERIAL Y EQUIPO***

- ✓ Crisol de porcelana de 50 ml para evaporar.
- ✓ Probeta graduada de 50 o 100 ml.
- ✓ Bomba de vacío.
- ✓ Horno de secado.
- ✓ Desecador.
- ✓ Mufla eléctrica para calcinar.
- ✓ Pinzas para crisol.
- ✓ Balanza analítica.

### ***REACTIVOS***

- ✓ Disolución de agua destilada + muestra representativa de composta.

## **PROCEDIMIENTO**

### **SELECCIÓN DE LA TEMPERATURA DE SECADO**

Los residuos secados a 103-105°C se cree que retienen no solo el agua de cristalización sino también agua mecánicamente absorbida. Hay pérdida de CO<sub>2</sub> por la conversión de HCO<sub>3</sub> a CO<sub>3</sub>. La pérdida de materia orgánica por volatilización es muy poca a esta temperatura. Debido a que la expulsión del agua absorbida es marginal a 105°C, el logro de peso constante es muy lento.

### **DETERMNACIÓN DE SOLIDOS TOTALES FIJOS (STF)**

#### **PREPARACIÓN DEL CRISOL**

- ✓ Calcine el crisol en la mufla a una temperatura de 550°C +/- 50°C, durante 30 min como mínimo (Imagen 52).
- ✓ Sacar y enfriar a temperatura ambiente dentro de un desecador durante 30 minutos, al enfriar, es conveniente primero hacerlo en aire y finalmente en desecador para completar el enfriamiento en una atmosfera seca (Imagen 54 y 55).
- ✓ Pesar el crisol sobre la balanza analítica y registrar los datos.
- ✓ Se colocó el crisol en el desecador como se muestra en la imagen 53 por 5 min, luego se colocó en la balanza analítica, se deja estabilizar durante 5 minutos y se toma el peso obtenido como peso 2.
- ✓ Repetir el paso hasta conseguir un peso constante, el cual se obtendrá hasta que no haya una variación en el peso mayor a 0.5 mg. Registrar el peso como tara.
- ✓ Comparar el peso 1 con el peso 2, la variación entre ellos no debe ser mayor a 0.5 mg.

$$PESO\ 1 - PESO\ 2 \leq 0.5\ mg$$

“COMPOSTA DOMÉSTICA A BASE DE ARENA COMO MEJORADOR DE  
SUELOS ALTAMENTE PLÁSTICOS”

---



**Imagen 52. Calcinación de la composta**



**Imagen 53. Pesado de crisol**



**Imagen 54. Secado de la muestra + crisol**



**Imagen 55. Secado de la muestra**



## **5.9. DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE CARBONO ORGÁNICO**

El motivo de esta prueba es obtener la relación carbono/nitrógeno, por lo que se realizó conforme a la NORMA MEXICANA NMX-FF-109-SCFI-2007. HUMUS DE LOMBRIZ (LOMBRICOMPOSTA) - ESPECIFICACIONES Y MÉTODOS DE PRUEBA.

La prueba requiere de los resultados obtenidos con anterioridad por ejemplo el porcentaje de humedad, la determinación de cenizas, etc.

### ***PROCEDIMIENTO***

- ✓ Obtener el peso del crisol después de tener el peso constante.
- ✓ El material que se encuentra en el desecador previo a la prueba de determinación de porcentaje de humedad, se utiliza una muestra de 1 a 2 gr y se agregan en el crisol.
- ✓ En la balanza analítica con aproximación a 0.001 gr se pesa el crisol con el material, registrando la lectura como peso del crisol + muestra – el peso del crisol.
- ✓ Se introduce el crisol con la muestra en la mufla, previamente calentada a 550°C +/- 50°C, en un periodo de tiempo de 120 minutos.
- ✓ Transcurrido el tiempo, se deja enfriar el crisol por debajo de los 40°C de temperatura, cuando esto ocurre es llevado al desecador donde pasara un periodo de tiempo de 30 minutos.
- ✓ Se retira el crisol del desecador para ser pesado en la balanza analítica y registrar la lectura como peso del crisol + cenizas.
- ✓ Con los datos obtenidos se realizan las operaciones adecuadas.

La fórmula empleada para este cálculo es la siguiente:

$$\% \text{ CENIZAS} = \frac{(PCC - PC)}{MUESTRA} * 100$$

Donde:

PCC = peso del crisol + cenizas

PC = peso del crisol

MUESTRA = cantidad de muestra en gramos.

El porcentaje de cenizas es la cantidad de materia orgánica que contiene la composta doméstica. Por lo anterior para la determinación del carbono orgánico se conoce con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ CO} = \frac{\% \text{ M. O}}{1.724}$$

Donde:

% C.O = porcentaje de carbono orgánico.

% M. O = porcentaje de materia orgánica, calculada a partir del porcentaje de cenizas.

1.724 = es el factor vanbenmellen.

## **5.10. DETERMINACION DE LA CANTIDAD DE FÓSFORO TOTAL QUE CONTIENE LA COMPOSTA DOMÉSTICA**

El fósforo debe ser mezclado con agua para que las plantas lo puedan absorber. Se debe romper el fósforo y combinarlo con otros químicos para que lo pueda hacer. Entonces se combina con otros químicos para formar el hierro. El fósforo (P) se une al hidrógeno (H) y al oxígeno (O) para crear una solución para el suelo. Una vez que se forma la solución, las plantas la absorben por medio de los sistemas de raíces.

El fósforo es uno de los tres principales nutrientes que las plantas necesitan para prosperar: fósforo (P), nitrógeno (N) y potasio (K). Funciona como uno de los principales actores en la fotosíntesis, transportador de nutrientes y transmisor de energía. El fósforo también afecta a la estructura de la planta a nivel celular. Una planta con la cantidad correcta de este elemento va a crecer vigorosamente y madurará más temprano que las plantas que no lo tienen.

(SACSA, 2016)

El porcentaje de fósforo no se encuentra normado, pero se considera un porcentaje óptimo el cual es de 0.45 a 1.80%. Durante esta prueba se siguieron los pasos indicados por la marca Hach para la determinación de fósforo total.

### **PROCEDIMIENTO**

- ✓ Precalentar el reactor DR 500 a una temperatura de 100°C.
- ✓ En un tubo de ensaye preparado para fósforo total, se agregan 2.0 ml de disolución de la muestra previamente preparada.
- ✓ Se tapó el tubo de ensaye y se agito para disolver.
- ✓ Se insertaron los tubos de ensayo en el reactor DR 500, previamente calentado a una temperatura de 100°C, durante 1 hora.
- ✓ Después de este tiempo, se mueven los tubos del reactor y se dejan enfriar hasta alcanzar una temperatura ambiente aproximada de 18 a 25°C.
- ✓ Se agrega 0.2 ml de la solución B.
- ✓ Se agrega la capsula C que se encuentra en la tapa del tubo de ensaye y se mezcla con precaución.
- ✓ Dejar reposar de 10 minutos, para que la digestión se lleve a cabo.
- ✓ Se limpian con precaución los tubos evitando ralladuras y se coloca el blanco en el espectrofotómetro para ser calibrado en cero y en seguida el tubo con la muestra, se registrar la lectura marcada como fósforo total.

Para el cálculo del porcentaje de fósforo presente en la composta, se utilizó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ FÓSFORO} = \frac{\text{VALOR OBTENIDO DE FÓSFORO } \left(\frac{\text{mg}}{\text{l}}\right)}{\text{VALOR OBTENIDO DQO } \left(\frac{\text{mg}}{\text{l}}\right)} * 100$$

### **5.11. DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN CARBONO/NITRÓGENO (C/N)**

Según la Norma Mexicana NMX-FF-109-SCFI-2007 indica que la relación carbono/nitrógeno debe ser < 20. Para conseguir este valor, se requiere conocer los valores de la siguiente fórmula:

$$\frac{C}{N} = \frac{CO (\%)}{NT (\%)}$$

Donde:

C/N = relación carbono/nitrógeno.

CO (%) = porcentaje de carbono orgánico.

NT (%) = porcentaje de nitrógeno total.

### **5.12. DETERMINACIÓN DE LÍMITE DE CONSISTENCIA Y CONTRACCIÓN LINEAL**

Esta prueba tiene como objetivo conocer las características de plasticidad de la porción de suelo que pasa la malla número. 0.425 (N° 40), cuyos resultados se utilizan principalmente en edificación y clasificación de los suelos.

### **5.12.1. DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO**

#### ***EQUIPO Y MATERIAL***

- ✓ Cápsula de porcelana de 12 cm de diámetro.
- ✓ Espátula de hoja flexible de 7.5 cm de longitud y de 2 cm de ancho, con punta redonda.
- ✓ Cuenta gotas.
- ✓ Copa de Casagrande calibrada para una altura de caída de 1 cm, provista de ranuradores, uno plano y otro curvo, con las características que se indican en la Norma M-MMP-1-07/07.
- ✓ Vidrio de reloj.
- ✓ Balanza de 200 gr de capacidad y 0.01 gr de aproximación.
- ✓ Horno con termostato que mantenga una temperatura constante de 105 +/- 5°C.
- ✓ Desecador de cristal conteniendo cloruro de calcio anhidro.
- ✓ Vaso de 0.5 litros de capacidad.
- ✓ Paño absorbente.

#### ***PREPARACION DE LA MUESTRA***

Emplear 250 gr de material previamente cribado por la malla número 0.425 (N° 40). La muestra se coloca en un recipiente apropiado, se le agrega agua en la cantidad necesaria para que tome el aspecto de material saturado y se deja en reposo durante 24 horas aproximadamente, en un lugar fresco, cubriendo el recipiente con un paño que se mantendrá húmedo a fin de reducir al mínimo las pérdidas de agua por evaporación.

#### ***PROCEDIMIENTO***

Se toma una muestra de 150 gr, aproximadamente, del material preparado de acuerdo a lo anterior mencionado, este material se coloca en una cápsula de porcelana y se procede a homogenizar la humedad en la espátula, como se muestra en la imagen 56 y 57.



**Imagen 56. Muestreo del material preparado**



**Imagen 57. Homogenización de la muestra**

Logrando lo anterior se coloca en la copa de Casagrande, previamente calibrada, una cantidad suficiente de material para que una vez extendido con la espátula se tenga un espesor de 8 a 10 milímetros en la parte central de la muestra colocada. Para extender el material se procede del centro hacia los lados, sin aplicarle una presión excesiva y con el número mínimo de pasadas de la espátula (imagen 58).



**Imagen 58. Muestra colocada en copa de Casagrande**

Se efectúa una ranura en la parte central del material que contiene la copa, con una pasada firme del ranurador, manteniéndolo siempre normal a la superficie de la copa. Si el material se desliza sobre la copa cuando se use el ranurador curvo, podrá darse hasta 6 pasadas profundizando paulatinamente la ranura, de manera que solamente en la última pasada el ranurador toque el fondo de la copa.

Se acciona la manivela del aparato para hacer caer la copa, a razón de 2 golpes por segundo y se registra el número de golpes necesarios para que el borde inferior de la ranura se ponga en contacto en una longitud de 13 mm.

Una vez logrado lo anterior se toma aproximadamente 10 gr de material de la porción cerrada de la ranura y se coloca en una cápsula metálica, para proceder de inmediato a obtener su contenido de agua.



**Imagen 59. Porción de material para obtener humedad**

Una vez que se ha tomado la muestra para determinar la humedad, se regresa a la cápsula de mezclado lo que contiene la copa, se lava y seca tanto la copa como el ranurador.

Enseguida se agrega agua con él cuenta gotas al material contenido en la cápsula, se homogeniza el material y se vuelven a realizar las etapas anteriores.

La cantidad de agua agregada al material deberá ser en tal forma que las cuatro determinaciones efectuadas, quedan comprendidas entre 10 y 35 golpes, siendo necesario obtener 2 valores arriba y 2 debajo de 25 golpes. Para consistencias menores de 10 golpes es difícil identificar el momento de cierre de la ranura en la longitud especificada, por otra parte, y para más de 35 golpes, se dificulta la ejecución de la prueba.



El límite líquido se obtiene empleando el método descrito a continuación, aplicando la siguiente fórmula:

$$LL = W_N \left( \frac{N}{25} \right)^{0.12}$$

Donde:

LL = límite líquido del suelo, expresado como contenido de agua, indicado en por ciento.

$W_N$  = contenido de agua de la muestra respectiva, a la cual le fue aplicada un número N de golpes en la prueba, en por ciento.

N = número de golpes necesario para lograr que los bordes de la ranura se pongan en contacto en una longitud de 13 milímetros.

### **5.12.2. DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO**

El límite plástico en el suelo se define como el mínimo contenido de agua de la fracción que pasa la malla número 0.425 (N° 40), para que se puedan formar con ella cilindros de 3 mm, sin que se pompa o se desmorone.

#### ***EQUIPO Y MATERIAL***

- ✓ Cápsula de porcelana de 12 cm de diámetro.
- ✓ Espátula de hoja de acero flexible de 7.5 cm de longitud y de 2 cm de ancho, con punta redonda.
- ✓ Placa de vidrio con dimensiones mínimas aproximadas de 40 cm de lado y 0.6 cm de espesor.
- ✓ Balanza de 200 gr de capacidad y 0.01 gr de aproximación.
- ✓ Alambre de acero, de 3 mm de diámetro y 10 cm de longitud.
- ✓ Horno con termostato que mantenga una temperatura constante de 105 +/- 5°C.
- ✓ Desecador de cristal conteniendo cloruro de calcio anhídrido.

### **PROCEDIMIENTO**

Se toma una muestra de material preparado de acuerdo con la prueba de LL, a la cual se le da la forma de una pequeña esfera de aproximadamente 12 mm de diámetro, que deberá moldearse con los dedos para que pierda la humedad y se forma un cilindro manipulado sobre la palma de la mano, aplicando con los dedos la presión necesaria para tal fin.

Se rola el cilindro con los dedos de la mano sobre la placa de vidrio, donde la presión requerida para reducir su diámetro hasta que este sea uniforme en toda su longitud y ligeramente mayor de 3 mm, la velocidad de rodado deberá ser de 60 a 80 ciclos por minuto, entendiendo por ciclo un movimiento completo de la mano hacia adelante y hacia atrás, hasta volver a la posición de la partida. Como se muestra en la imagen 60.



**Imagen 60. Cilindros para medir límite plástico**

Si al alcanzar dicho diámetro el cilindro no se rompe en varios segmentos en el momento que alcance el diámetro de 3 mm. Dicho diámetro se verifica comparándolo con el alambre de referencia.

Se coloca en una cápsula metálica todos los fragmentos en que se halla dividido el cilindro y se efectúa la determinación del contenido de humedad correspondiente (imagen 61).



**Imagen 61. Fragmentos de cilindros para determinar la humedad**

Para mayor seguridad en los resultados, se deberá llevar a cabo por lo menos en 3 determinaciones sucesivas de límite plástico, en cada muestra.

Los suelos con los que no es posible formar cilindros del diámetro especificado, con ningún contenido de agua, se consideran como no plásticos.

### **5.12.3. DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE PLÁSTICO**

El índice plástico en suelos mide el intervalo de variación de la humedad dentro del cual el suelo presenta una consistencia plástica, de acuerdo con los conceptos expresados anteriormente. Los límites líquido y plásticos corresponden a las fronteras superior e inferior de dicha consistencia.

El índice plástico, se define como la diferencia aritmética entre los límites líquido y plástico, se calcula mediante la fórmula siguiente:

$$IP = LL - LP$$

Donde:

IP = índice plástico del suelo, en por ciento.

LL = límite líquido del suelo, en por ciento.

LP = límite plástico del suelo, en por ciento.

#### **5.12.4. DETERMINACIÓN DE LA CONTRACCIÓN LINEAL**

La contracción lineal de un suelo se define como la reducción en la mayor dimensión de un espécimen de forma prismática rectangular, elaborado con la fracción de suelos que pasa la malla número 0.425 (N° 40), cuando su humedad disminuye desde la correspondiente al límite líquido hasta el límite de contracción, expresada como un porcentaje de la longitud inicial del espécimen.

Para esta determinación se utilizará una muestra preparada como la que se utilizó en la determinación del límite líquido, o bien se aprovechara el material húmedo que haya sobrado de la determinación del límite líquido.

#### ***EQUIPO Y MATERIAL***

- ✓ Cápsula de porcelana de 12 cm de diámetro.
- ✓ Espátula de hoja flexible de 7.5 cm de longitud y de 2 cm de ancho, con punta redonda.
- ✓ Molde de lámina galvanizada de N° 16, con sección de 2 por 2 cm y de 10 cm de longitud.
- ✓ Calibrador con vernier del tipo máuser.
- ✓ Horno con termostato que mantenga una temperatura constante de 105 +/- 5°C.
- ✓ Grasa gratificada.

#### ***PROCEDIMIENTO***

Se agrega a la muestra agua o material menos húmedo tomando de la porción preparada, hasta lograr que la humedad sea la correspondiente a la del límite líquido, lo cual se verifica empleando la copa de Casagrande y cumpliendo con la condición de que la ranura se cierre en una longitud de 13 mm precisamente a los 25 golpes.

Con el material preparado en las condiciones indicadas se procede a llenar el molde de prueba, al cual se le habrá aplicado previamente una capa delgada de grasa en su interior para evitar que el material se adhiera a sus paredes.

El llenado del molde se efectúa en tres capas, utilizando la espátula y golpeando después de la colocación de cada capa contra una superficie dura; para esto último, deberá tomarse el molde por sus extremos, procurando siempre que el impacto lo reciba en toda su base, lo cual se logra conservando paralelismo entre dicha base y la superficie sobre la cual se golpea. En cada caso las operaciones de golpeo deberán prolongarse lo suficiente para lograr la expulsión del aire contenido en la muestra colocada, lo que se pone de manifiesto cuando ya no aparecen burbujas en su superficie.



**Imagen 62. Molde enrazado**

Se enraza el material en el molde utilizado con la espátula y se deja orear a la sombra hasta que cambie ligeramente su color (imagen 62), después de lo cual se pone a secar en el horno por un periodo de 18 horas, aproximadamente, a una temperatura de  $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$ .

Se extrae del horno el molde con el espécimen, se deja enfriar a temperatura ambiente y a continuación se saca del molde la barra. Finalmente,

se mide con el calibrador la longitud media de la barra del material seco y la longitud interior del molde, con aproximación de 0.01 cm.

La contracción lineal se calcula de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$CL = \frac{L_i - L_f}{L_i} * 100$$

Donde:

CL = Contracción lineal aproximada al décimo más cercano, en porciento.

$L_i$  = Longitud inicial de la barra de suelo húmedo, longitud interior del molde, en centímetros.

$L_f$  = Longitud media de la barra de suelo seco, en centímetros.

#### **5.12.5. DETERMINACIÓN DE LA CONTRACCIÓN VOLUMÉTRICA**

El límite de contracción es la frontera entre los estados semi-sólido y sólido, quedando definido como el contenido de agua mínimo para el cual el suelo no retrae su volumen aun cuando pierda o se evapore agua. Observando una gráfica de volumen de suelo en función de su contenido de humedad, observaríamos que todo suelo llega a un punto donde su volumen no decrece aun cuando el contenido de humedad siga disminuyendo. Es este punto, el contenido de humedad que deseamos cuantificar.

#### ***EQUIPO Y MATERIAL***

- ✓ Plato de evaporación de porcelana, de aproximadamente 140 mm de diámetro.
- ✓ Espátula o cuchillo, con una hoja flexible de aproximadamente 76 mm de largo por 19 mm de ancho.
- ✓ Molde cilíndrico metálico o de porcelana, con fondo plano y de aproximadamente 44 mm de diámetro 12 mm de altura.
- ✓ Regla de enrase de acero de aproximadamente 150 mm de largo.

- ✓ Taza de vidrio de aproximadamente 57 mm de diámetro y 31 mm de altura, borde superior pulido y esencialmente paralela a la base.
- ✓ Placa de vidrio de 3 puntas para sumergir la muestra en el mercurio.
- ✓ Probeta con una capacidad de 25 ml y graduada a 0.2 ml.
- ✓ Balanza con una precisión de 0.01 gr
- ✓ Mercurio suficiente para llenar la taza de vidrio.
- ✓ Horno con termostato que mantenga una temperatura constante de 105 +/- 5°C

NOTA: El mercurio es una sustancia peligrosa. Las precauciones que se deben tomar para trabajar con este material son usar guantes de látex, limpiar los derrames inmediatamente y trabajar en un área ventilada.

### ***PROCEDIMIENTO***

Recubrir el interior del molde con una capa delgada de lubricante de lubricante (por ejemplo. Vaselina o aceite de silicón para prevenir la adherencia de suelo al molde).

Colocar una porción de suelo húmedo de aproximadamente un tercio de la capacidad del molde en el centro de este y extenderlo hasta los bordes, golpeando el molde contra una superficie firme recubierta con papel secante o similar. Agregar una porción similar a la primera y golpear el molde hasta que el suelo este completamente compactado y todo el aire compactado suba a la superficie. Finalmente se agrega material y se compacta hasta que el molde este completamente lleno y con exceso de suelo sobre el borde, se enrasa con la regla y se limpian posibles restos de suelo adherido al exterior del molde.

Después de enrasado se pesa el molde con el suelo compactado como se muestra en la imagen 63. Restar el peso del molde determinando el peso del suelo húmedo (Wh). Registrar aproximando a 0.01 gr. Se deja secar a

temperatura ambiente hasta que la pastilla de suelo moldeado se desprege de las paredes del molde o hasta que cambie de color oscuro a claro. Posterior a esto se lleva al horno a  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  hasta masa constante.



**Imagen 63. Suelo compactado en la cápsula**

Pesar el molde con el suelo seco, restar el peso del molde determinando el peso del suelo seco ( $W_s$ ) con aproximación a 0.01 gr. Se determina el volumen de la pastilla de suelo seco para lo cual se llena la taza de mercurio hasta que desborde, enrasar con la placa de vidrio y limpiar el excedente, Colocar la taza llena de mercurio sobre el plato de evaporación, colocar la pastilla sobre la superficie y sumergir cuidadosamente (ver imagen 64). En seguida se obtiene el volumen de mercurio desplazado por la pastilla de suelo, este valor es registrado como el volumen de la pastilla de suelo seco ( $V_s$ ). Como se muestra en la imagen 65.





**Imagen 64. Desborde de exceso de mercurio**



**Imagen 65. Volumen desplazado de mercurio**

Para calcular la humedad del suelo se requiere la siguiente formula:

$$W = \frac{W_h - W_s}{W_s} * 100$$

Donde:

W = Humedad del suelo, en porciento.

Wh = Peso del suelo húmedo, en gramos.

Ws = Peso del suelo seco, en gramos.

Par realizar los cálculos necesarios para el límite de contracción del suelo se emplea la formula siguiente:

$$W_c = W - \left( \frac{(V_h - V_s)\gamma_w}{W_s} \right) * 100$$

Donde:

$W_c$  = Límite de contracción, en porcentaje.

$W$  = Humedad del suelo, en porcentaje.

$V_h$  = Volumen de la pastilla de suelo húmedo,  $cm^3$  (ml).

$V_s$  = Volumen de la pastilla de suelo seco,  $cm^3$  (ml).

$\gamma_w$  = Densidad del agua,  $gr/cm^3$  (gr/ml).

$W_s$  = Peso del suelo seco,  $gr$ .

## VI. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 6.1. ANÁLISIS EN EL LABORATORIO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL

Tabla 5. Comparación de parámetros fisicoquímicos

<b>PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DE LA COMPOSTA A BASE DE ARENA</b>					
<b>PARÁMETROS</b>	<b>NORMA</b>	<b>MUESTRA #1</b>	<b>OBSERVACIÓN M1</b>	<b>MUESTRA #2</b>	<b>OBSERVACIÓN M2</b>
<b>Humedad</b>	20 - 40	14.37	FUERA DE NORMA	16.3	FUERA DE NORMA
<b>DQO</b>	-	28	-	42	-
<b>pH</b>	5.5 - 8.5	7	CUMPLE	7.5	CUMPLE
<b>Nitrógeno</b>	1.0 - 4.0	13.25	FUERA DE NORMA	8.73	FUERA DE NORMA
<b>Fósforo</b>	-	11.32	-	6.38	-
<b>Carbono</b>	-	56.19	-	55.03	-
<b>Relación C/N</b>	< 20	4.24	CUMPLE	6.3	CUMPLE
<b>Cond. Eléctrica</b>	< 4	0.055	CUMPLE	0.054	CUMPLE
<b>Densidad Aparente</b>	0.4 - 0.9	0.58	CUMPLE	0.57	CUMPLE
<b>Material Adicional</b>	AUSENTE	AUSENTE	CUMPLE	AUSENTE	CUMPLE

La comparativa de la tabla anterior se llevó a cabo con lo mencionado en la Norma Mexicana NMX-FF-109-SCFI-2007 HUMUS DE LOMBRIZ (LOMBRICOMPOSTA)-ESPECIFICACIONES Y METODOS DE PRUEBA.

#### **MUESTRA No. 1**

Los resultados que se encontraron fuera de la norma en el caso de nitrógeno y fósforo es debido a la alta cantidad de hojas secas y verdes que se incluyeron en el proceso de compostaje del primer estrato, por consecuente los niveles de DQO son bajos.

El alto contenido de nitrógeno y fósforo también puede ser causa de un mal muestreo ya que la muestra no se tomó lo suficientemente abajo del estrato, por lo que probablemente no se encontraba homogenizada correctamente con la cantidad de materia que fue añadida en el proceso de compostaje. A pesar de que estos valores no se encuentran en el rango de la norma, cumplen en la relación C/N (Ver tabla 5).

La Demanda Química de Oxígeno resultó en baja cantidad a causa de la arena, ya que ésta no retiene los nutrientes por la falta de finos para poder disolverse como las arcillas, si bien tiene mucho espacio para el aire la retención del agua es en menor cantidad que la de un limo o arcilla.

El exceso de aire y la poca retención del agua en la composta es causado principalmente por la arena, ya que este material es la base de la producción de la composta y por lo cual se tiene un nivel bajo de humedad.

### ***MUESTRA No. 2***

Al realizar mejoramientos en el segundo estrato de la composta se vieron mejorías en el aumento de todos los factores que con anterioridad eran bajos. El cumplimiento de los parámetros sigue estando fuera de la norma, pero si se continua con los cuidados y las mejoras que se aplicaron al estrato se lograría el cumplimiento de la norma.

Para que el aumento de la humedad se llevara a cabo, se cubrió el reactor compostero con una bolsa plástica que permitió retener la humedad que se perdía por el exceso de aire que pasa a través de la arena, ya que es un material granular que permite entre sus partículas el tránsito del aire.

Se redujo el espesor de la capa de hojas verdes y secas con la finalidad de que el estrato como producto final generara menor cantidad de nitrógeno y

fósforo, aunque no entró en los límites de la norma el objetivo se cumplió reduciendo un 4.5% el exceso de nitrógeno y un 5% la cantidad de fósforo. Con la disminución en el resultado de los parámetros se logró aumentar la Demanda Química de Oxígeno casi al doble del resultado de la primera muestra.

Los parámetros como pH, la relación C/N, la conductividad eléctrica y densidad aparente cumplen en ambas muestras sin existir grandes variaciones entre ellas. La materia adicional siempre se encontró ausente durante las pruebas.

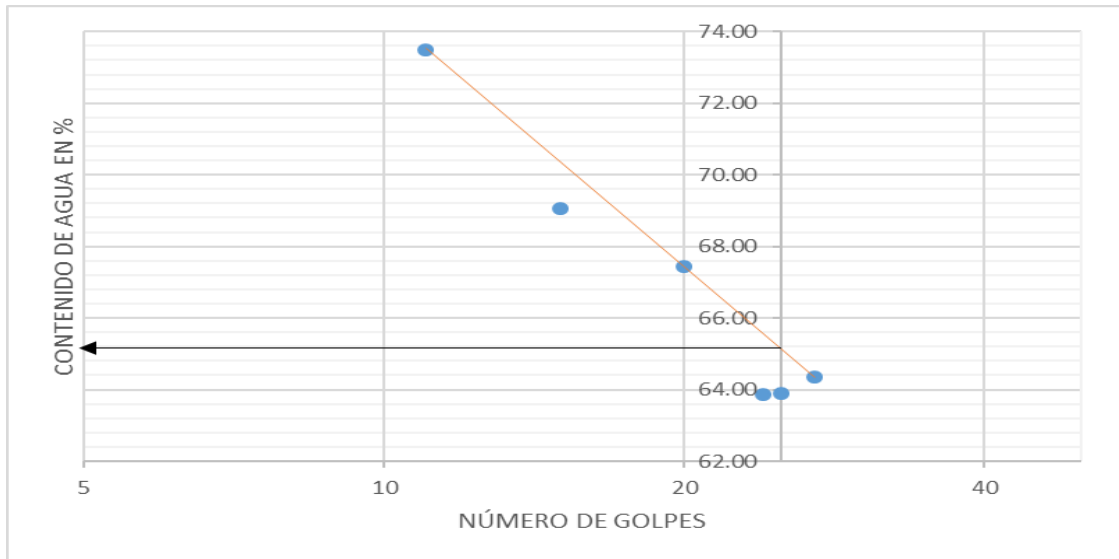
## 6.2. ANÁLISIS EN EL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

**Tabla 6. Determinación de límites y contracción de la arcilla altamente plástica**

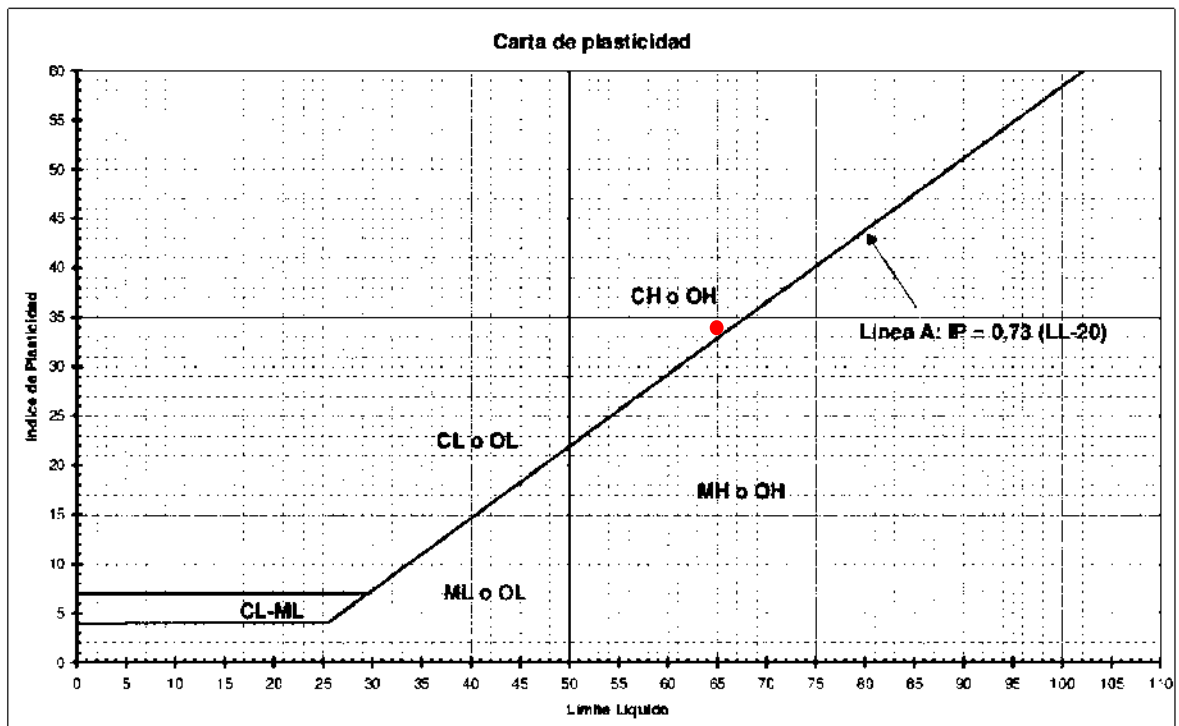
<b>ARCILLA ALTAMENTE PLÁSTICA</b>										
<b>LÍMITE LÍQUIDO</b>										
PRUEBA No.	CÁPSULA No.	NÚMERO DE GOLPES			PESO CÁPSULA + SUELO HUMEDO	PESO CÁPSULA + SUELO SECO	PESO DEL AGUA	PESO DE LA CÁPSULA	PESO DEL SUELO SECO	CONTENIDO DE AGUA (w)
					gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	%
1	44		11		32.00	23.40	8.60	11.70	11.70	73.50
2	71		20		26.20	20.40	5.80	11.80	8.60	67.44
3	26		15		31.70	23.00	8.70	10.40	12.60	69.05
4	4		24		23.70	18.40	5.30	10.10	8.30	63.86
5	33		27		22.60	17.00	5.60	8.30	8.70	64.37
6	53		25		20.20	15.60	4.60	8.40	7.20	63.89
<b>LÍMITE PLÁSTICO</b>										
PRUEBA No.	CÁPSULA No.	NÚMERO DE GOLPES			PESO CÁPSULA + SUELO HUMEDO	PESO CÁPSULA + SUELO SECO	PESO DEL AGUA	PESO DE LA CÁPSULA	PESO DEL SUELO SECO	CONTENIDO DE AGUA (w)
					gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	%
1	54		-		15.00	13.40	1.60	8.10	5.30	30.19
2	7		-		15.30	13.60	1.70	8.50	5.10	33.33
<b>CONTRACCIÓN LINEAL</b>										
PRUEBA No.	CÁPSULA No.	LONGITUD INICIAL (cm)			LONGITUD FINAL (cm)			CONTRACCION LINEAL (%)		
1	10	10.09			8.30			17.74		
<b>CONTRACCIÓN VOLUMETRICA</b>										
PRUEBA No.	CÁPSULA No.	NÚMERO DE GOLPES			PESO CÁPSULA + SUELO HUMEDO	PESO CÁPSULA + SUELO SECO	PESO DEL AGUA	PESO DE LA CÁPSULA	PESO DEL SUELO SECO	CONTENIDO DE AGUA (w)
					gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	%
1	17		25		44.40	37.60	6.80	27.10	10.50	64.76
<b>RESULTADOS</b>										
Vf	LL (%)	LP (%)	IP (%)			CL (%)		CV (%)		
5.63	65.20	31.76	33.44			17.74		4.14		

“COMPOSTA DOMÉSTICA A BASE DE ARENA COMO MEJORADOR DE SUELOS ALTAMENTE PLÁSTICOS”

Gráfica 1. Determinación de límites líquido de la arcilla



Gráfica 2. Carta de plasticidad para la arcilla



Según la carta de plasticidad la arcilla se clasifica como un CH, llamada arcilla inorgánica de alta plasticidad.

Los limos o arcillas que cuentan con un límite líquido mayor al 50% son consideradas de alta plasticidad. Como se muestra en la gráfica 1, se obtuvo un límite líquido de 65.2% obteniendo una arcilla de alta compresibilidad.

La composta se clasifica como un OL, que significa que son limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad. Esta clasificación tiene un límite líquido menor del 50%. Esta clasificación se conoce con el índice de plasticidad de la tabla 6 y el límite líquido de la gráfica 1, representado en la gráfica 2.

Al llevar a cabo las pruebas únicamente en la muestra de composta se pudo notar que el límite líquido no se puede realizar, ya que es un material limoso y su consistencia es difícil de manipular. Así mismo para conocer el grado de compactación del material se llevó a cabo la prueba de contracción lineal la cual es inapreciable.



“COMPOSTA DOMÉSTICA A BASE DE ARENA COMO MEJORADOR DE  
SUELOS ALTAMENTE PLÁSTICOS”

**Tabla 7. Determinación de límites y contracción de la arcilla + composta (primer estrato)**

ARCILLA ALTAMENTE PLÁSTICA + COMPOSTA A BASE DE ARENA (PRIMER ESTRATO)										
LÍMITE LÍQUIDO										
PRUEBA No.	CÁPSULA No.	NÚMERO DE GOLPES			PESO CÁPSULA + SUELO HUMEDO	PESO CÁPSULA + SUELO SECO	PESO DEL AGUA	PESO DE LA CÁPSULA	PESO DEL SUELO SECO	CONTENIDO DE AGUA (w)
					gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	%
1	76		12		31.80	25.60	6.20	8.40	17.20	36.05
2	42		20		38.20	30.50	7.70	8.60	21.90	35.16
3	9		24		16.50	14.30	2.20	8.30	6.00	36.67
4	46		28		16.80	14.60	2.20	8.30	6.30	34.92
5	31		15		19.00	16.00	3.00	8.30	7.70	38.96
6	40		34		19.40	16.30	3.10	8.40	7.90	39.24
LÍMITE PLÁSTICO										
PRUEBA No.	CÁPSULA No.	NÚMERO DE GOLPES			PESO CÁPSULA + SUELO HUMEDO	PESO CÁPSULA + SUELO SECO	PESO DEL AGUA	PESO DE LA CÁPSULA	PESO DEL SUELO SECO	CONTENIDO DE AGUA (w)
					gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	%
1	12		-		12.90	12.00	0.90	8.30	3.70	24.32
2	7		-		12.20	11.50	0.70	8.40	3.10	22.58
CONTRACCIÓN LINEAL										
PRUEBA No.	CÁPSULA No.	LONGITUD INICIAL (cm)			LONGITUD FINAL (cm)			CONTRACCIÓN LINEAL (%)		
1	10	10.09			9.33			7.53		
CONTRACCIÓN VOLUMÉTRICA										
PRUEBA No.	CÁPSULA No.	NÚMERO DE GOLPES			PESO CÁPSULA + SUELO HUMEDO	PESO CÁPSULA + SUELO SECO	PESO DEL AGUA	PESO DE LA CÁPSULA	PESO DEL SUELO SECO	CONTENIDO DE AGUA (w)
					gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	%
1	17		28		48.20	42.70	5.50	27.20	15.50	35.48
RESULTADOS										
Vf (gr/whg)	LL (%)	LP (%)	IP (%)			CL (%)	CV (%)			
9.12	35.00	23.45	11.55			7.53	16.87			

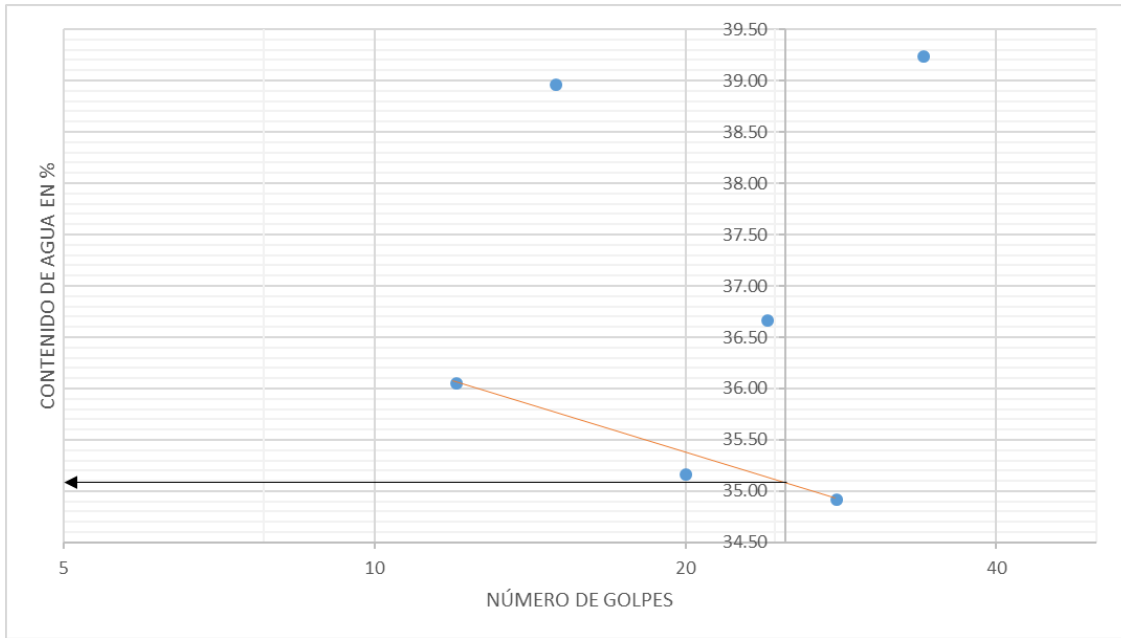
La combinación de arcilla negra + composta a base de arena resulta ser una opción para reducir la plasticidad en suelos expansibles ya que contiene una cantidad apreciable de materia orgánica.

EL producto de esta combinación presenta una dilatación lenta, esto a causa del contenido de arena y arcilla.

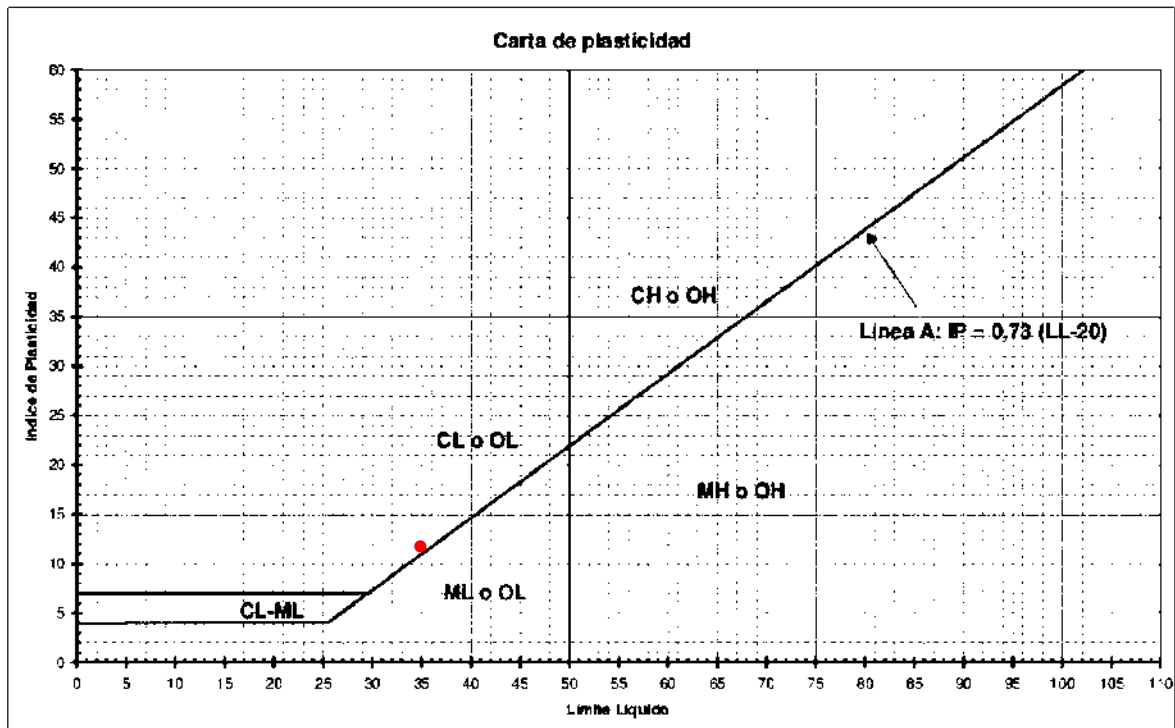
La tenacidad de la arcilla negra se redujo al ser añadida la muestra de composta a base de arena, ya que esta presenta una baja plasticidad por el contenido de materia orgánica.

“COMPOSTA DOMÉSTICA A BASE DE ARENA COMO MEJORADOR DE  
SUELOS ALTAMENTE PLÁSTICOS”

**Gráfica 3. Determinación del límite líquido de la arcilla + composta (primer estrato)**



**Gráfica 4. Carta de plasticidad para la arcilla + composta (primer estrato)**



“COMPOSTA DOMÉSTICA A BASE DE ARENA COMO MEJORADOR DE  
SUELOS ALTAMENTE PLÁSTICOS”

En la gráfica 3 se presenta el límite líquido de la arcilla + composta que fue de 35% menor del 50%, el cual indica según el sistema de clasificación de suelos (S.U.C.S) en la carta de plasticidad que es un limo de baja compresibilidad, por lo cual el objetivo buscado se cumple, ya que la composta aporta los nutrientes necesarios para que esta acción se cumpla, como se muestra en la gráfica 4.

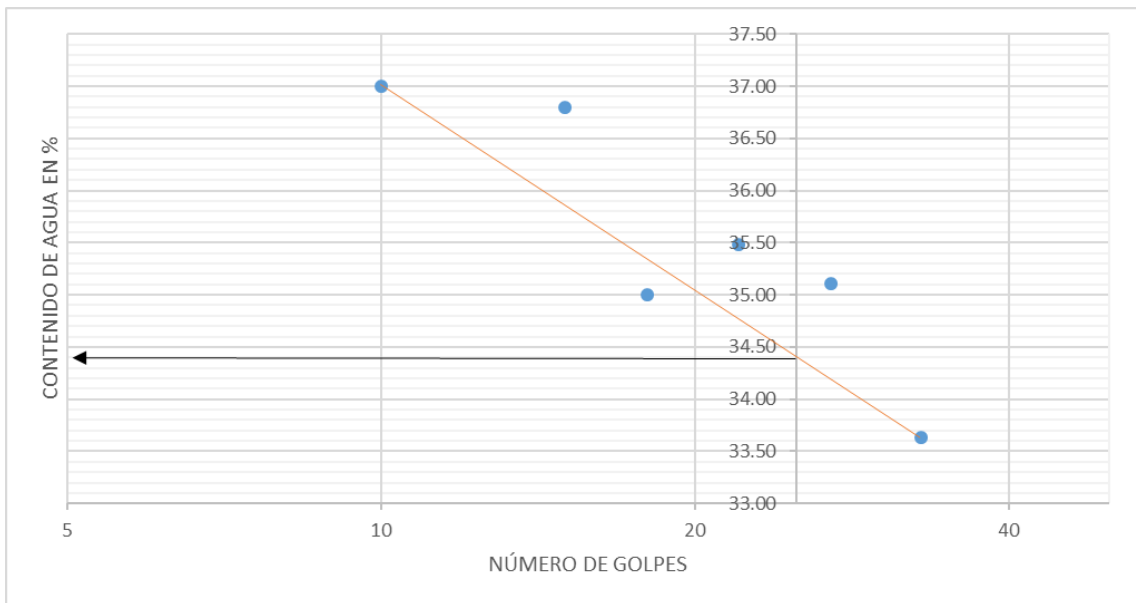
Esta clasificación se conoce con el índice de plasticidad de la tabla 7 y el límite líquido de la gráfica 3.

**Tabla 8. Determinación de límites y contracción de la arcilla + composta (mejoramiento de estrato)**

ARCILLA ALTAMENTE PLÁSTICA + COMPOSTA A BASE DE ARENA (ESTRATO MEJORADO)										
LÍMITE LÍQUIDO										
PRUEBA No.	CÁPSULA No.	NÚMERO DE GOLPES			PESO CÁPSULA + SUELO HUMEDO	PESO CÁPSULA + SUELO SECO	PESO DEL AGUA	PESO DE LA CÁPSULA	PESO DEL SUELO SECO	CONTENIDO DE AGUA (w)
					gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	%
1	76		10		22.10	18.40	3.70	8.40	10.00	37.00
2	50		15		30.90	27.00	3.90	16.40	10.60	36.79
3	29		18		26.30	23.50	2.80	15.50	8.00	35.00
4	36		22		20.80	17.50	3.30	8.20	9.30	35.48
5	30		27		21.00	17.70	3.30	8.30	9.40	35.11
6	32		33		25.80	22.00	3.80	10.70	11.30	33.63
LÍMITE PLÁSTICO										
PRUEBA No.	CÁPSULA No.	NÚMERO DE GOLPES			PESO CÁPSULA + SUELO HUMEDO	PESO CÁPSULA + SUELO SECO	PESO DEL AGUA	PESO DE LA CÁPSULA	PESO DEL SUELO SECO	CONTENIDO DE AGUA (w)
					gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	%
1	19		-		15.00	14.30	0.70	10.10	4.20	16.67
2	4		-		15.00	14.20	0.80	10.10	4.10	19.51
CONTRACCIÓN LINEAL										
PRUEBA No.	CÁPSULA No.	LONGITUD INICIAL (cm)			LONGITUD FINAL (cm)			CONTRACCIÓN LINEAL (%)		
1	38	10.09			9.90			1.88		
CONTRACCIÓN VOLUMÉTRICA										
PRUEBA No.	CÁPSULA No.	NÚMERO DE GOLPES			PESO CÁPSULA + SUELO HUMEDO	PESO CÁPSULA + SUELO SECO	PESO DEL AGUA	PESO DE LA CÁPSULA	PESO DEL SUELO SECO	CONTENIDO DE AGUA (w)
					gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	%
1	17		27		48.20	42.80	5.40	27.10	15.70	34.39
RESULTADOS										
Vf (gr/whg)	LL (%)	LP (%)	IP (%)			CL (%)		CV (%)		
11.77	34.80	18.09	16.71			1.88		32.93		

En un segundo estrato de composta se llevaron a cabo mejoramientos en el proceso de producción en los cuales se cambiaron residuos orgánicos para aportar una mayor cantidad de nutrientes, con la finalidad de comprobar que la primera prueba fue asertiva la reducción de plasticidad en arcillas altamente expansivas y con el objetivo de ver un aumento en la baja de la plasticidad del suelo.

Gráfica 5. Determinación del límite líquido de la arcilla + composta (mejoramiento de estrato)

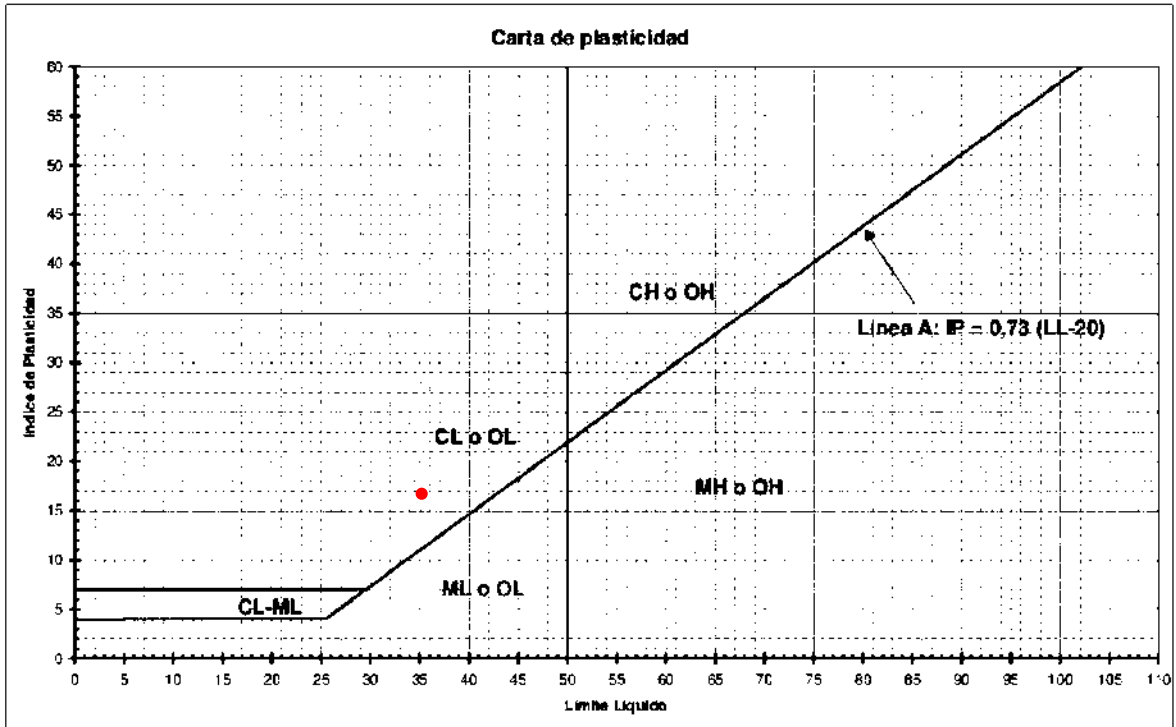


Con el mejoramiento de la composta la arcilla negra nuevamente bajo su plasticidad, cumpliendo con el límite líquido, plástico, la contracción lineal y volumétrica especificados en la Norma Mexicana NMX-C-493-ONNCCE-2018.

Como se muestra en la gráfica 5 se obtuvo un límite líquido de 34.8%, siendo este menor de 50% por lo tanto cumple con el sistema unificado de clasificación de suelos (S.U.C.S) en el cual se presenta conforme a la carta de plasticidad una arcilla inorgánica de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas y/o arcillas pobres (ver gráfica 6).

Esta clasificación se conoce con el índice de plasticidad de la tabla 8 y el límite líquido de la gráfica 5.

Gráfica 6. Carta de plasticidad para la arcilla + composta (mejoramiento de estrato)



## **VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **CONCLUSIONES**

Los valores de nitrógeno no cumplen ya que se encontraron resultados mayores a los de la norma, sin embargo, los procesos de compostaje se pueden reducir realizando una variación en el proceso de compostaje y lograr que estos entren en la norma.

Los valores de carbono y nitrógeno se encuentran fuera de la norma, pero la relación C/N cumple, aun siendo rangos altos permite el cumplimiento de la norma para ésta relación.

El parámetro de humedad no cumple con lo establecido en la norma, esto es debido al material que se empleó para cubrir la composta ya que está hecho de arena, pero al haber cribado la arena se presentó una cantidad de partículas finas que guardan la humedad y permiten el proceso de descomposición de la materia orgánica, sin importar que ésta pierda con rapidez la humedad.

Es aceptable que no cumpla con los rangos de humedad ya que la norma que se siguió es de lombriz y se usa arcilla por lo regular, y en éste caso se empleó arena para su elaboración.

La composta a base de arena reduce la plasticidad de la arcilla altamente plástica debido a que la composta contiene un alto contenido de materia orgánica que favorece este funcionamiento.

Una de las ventajas del incumplimiento de la norma es, que existen nutrientes de más, los cuales pueden ser controlados para llegar al contenido óptimo marcado por la norma, pero por cuestiones de tiempo y economía se

decidió dejar de hacer pruebas. Se observó con la modificación del segundo estrato que reducir el contenido de hojas verdes y secas favorecieron a la disminución de nitrógeno y fósforo.

En la búsqueda de información relacionada con composta doméstica a base de arena fuentes como la EPA, FAO, UNESCO, SEMARNAT, SAGARPA e INIFAT no mencionan este tipo de composta, ni el proceso de cuidado, ni su elaboración, solo se conoce la composta normal a base de arcillas o en su defecto composta de lombriz.

## **RECOMENDACIONES**

Seguir haciendo análisis a los parámetros estudiados para que cumpla lo especificado en la norma.

Es importante bajar el contenido de hojas verdes y cafés para que el nitrógeno y fósforo lleguen a cumplir con la norma.

Controlar la pérdida de humedad adicionando más agua con regularidad, así mismo mantener el reactor compostero en un lugar donde los rayos del sol no sean directos. El factor con mayor relevancia para conservar la humedad de la composta es mantener bien cubierto el reactor compostero. Reducir el número de agujeros que se colocan en las caras de la bolsa plástica para conservar su humedad.

Una vez que la composta cumpla con la norma, ésta se podrá implementar para determinar los tipos de cultivos, plantas o vegetación que son apropiados sembrar en suelos combinados con arcilla altamente plástica + composta a base de arena.

## VIII. REFERENCIAS CONSULTADAS

- Acosta, G. P. (27 de Febrero de 2002). *Composta*. Obtenido de <http://agricultura.uprm.edu/calentamiento/pdf/composta.pdf>
- Bueno, M. (2007). *"Como hacer un buen compost"*. La fertilidad de la tierra. Navarra.
- CONAGUA. (2013). *NMX-AA-007-SCFI-2013 "ANÁLISIS DE AGUA – MEDICIÓN DE LA TEMPERATURA EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS-MÉTODO DE PRUEBA"*. México.
- FAO. (2019). *Portal de suelos de la FAO*. Obtenido de <http://www.fao.org/soils-portal/soil-management/manejo-de-suelos-problematicos/suelos-de-arcillas-expandibles/es/>
- Guía de los tratamientos de las deyecciones ganaderas*. (27 de Diciembre de 2004). Obtenido de <http://www.arc.cat/es/altres/purins/guia/pdf/ficha4.pdf>
- Industrial, S. D. (1984). *NMX-AA-25-1984 "PROTECCIÓN AL AMBIENTE-CONTAMINACIÓN DEL SUELO-RESIDUOS SÓLIDOS – DETERMINACION DEL pH – MÉTODO POTENCIOMÉTRICO"*. México.
- Muñoz, D. G. (26 de Abril de 2019). UNESCO, Compostaje Residuos Agroindustriales. *Curso Internacional de Edafología y Biología Vegetal*.
- NACID/FAO. (2015). *¡Escarba! los secretos del suelo*. EUA.
- NMX-FF-109-SCFI-2007 HUMUS DE LOMBRIZ (LOMBRICOMPOSTA) – ESPECIFICACIONES Y METODOS DE PRUEBA*. (2007). México, D.F.
- Normatividad, S. d.-S. (2011). *NMX-AA-030/2-SCFI-2011 "ANÁLISIS DE AGUA – DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS – MÉTODO DE PRUEBA – PARTE 2 – DETERMINACIÓN DEL ÍNCICE DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO – MÉTODO DE TUBO SELLAD"*. México.



Normatividad, S. d.-S. (2018). *NMX-C-493-ONNCCE-2018 Industria de la Construcción - Geotecnia - Límites de Consistencia de Suelos - Método de Ensayo*. México.

Pilar Román, M. M. (2013). *MANUAL DE COMPOSTAJE DEL AGRICULTOR. Experiencias en América Latina*. Chile.

SACSA, G. (19 de Julio de 2016). *Importancia del fósforo en las plantas*.

SEMARNAT. (1984). *NMX-AA-16-1984 “PROTECCIÓN AL AMBIENTE– CONTAMINACIÓN DEL SUELO - RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES – DETERMINACIÓN DE HUMEDAD”*. México.

UGR. (25 de Julio de 2019). *Microorganismos implicados en el proceso de elaboración de compost*. Obtenido de <http://www.ugr.es/~cjl/compost.pdf>

Vásquez, E. K. (1999). *Manual de Agricultura Ecológica, Una introducción a los principios básicos y su aplicación*. La Habana.