

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

“ANTONIO NARRO”

DIVISIÓN DE AGRONOMIA

DEPARTAMENTO DE BOTANICA



**DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LA HUMEDAD EN CUATRO
DIFERENTES SUSTRATOS ORGÁNICOS A PARTIR DE ANÁLISIS GRAFICO
Y ANÁLISIS DE CORRELACION**

TESIS

Presentada por:

EDGAR ROBLERO MORALES

Como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN AGROBIOLOGIA

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Noviembre del 2010

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

“ANTONIO NARRO”

DIVISIÓN DE AGRONOMIA

DEPARTAMENTO DE BOTANICA

**DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LA HUMEDAD EN CUATRO
DIFERENTES SUSTRATOS ORGÁNICOS A PARTIR DE ANÁLISIS GRAFICO
Y ANÁLISIS DE CORRELACION**

Presentada por:
EDGAR ROBLERO MORALES

TESIS

**Que se somete a consideración del H. jurado examinador, como
requisito parcial para obtener el título de:**

**Ingeniero en Agrobiología
Aprobada por:**

M.C. Leopoldo Arce González
Presidente del jurado

Dr. Rubén López Cervantes
Sinodal

M.C. Antonio Valdez Oyervides
Sinodal

Ing. Francisco Javier Alemán
Granados
Sinodal

Dr. Mario Ernesto Vázquez Badillo
Coordinador de la División de Agronomía

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Noviembre del 2010

AGRADECIMIENTOS

Esta tesis, si bien ha requerido mas de motivación que de esfuerzo y dedicación por parte del autor, no hubiese sido posible su finalización sin la cooperación desinteresada de todas y cada una de las personas que a continuación citaré y muchas de las cuales han sido un soporte muy fuerte en momentos de angustia y desesperación.

Primero y antes que nada, romperé el protocolo de dar gracias Dios, la vida es la que me trajo hasta acá y el destino se ha encargado de poner en mi camino las circunstancias y a las personas que han influido en mi.

Agradecer hoy y siempre a mi familia porque a pesar de no estar presentes, se que procuran mi bienestar desde donde se encuentran. A mis padres sería el siguiente punto pero la verdad es que si alguien se merece todo el crédito por encontrarme hoy en esta etapa de mi vida es mi madre, doña Agustina Morales Ramírez, la señora de la casa, quien por nosotros ha cargado con el mundo encima. Y un agradecimiento en general a todos y cada uno de los miembros de mi gran familia, de no hacerlo de esta manera me tomaría medio libro terminar con este capítulo, ellos saben que los quiero y que son las personas por las cuales hoy por hoy puedo afirmar que, a pesar de haber venido solo a continuar mis estudios, jamás me he sentido así, porque ellos han estado a mi lado cada día durante estos años.

A **Lau**, por ser la persona que ha compartido el mayor tiempo a mi lado, porque en su compañía las cosas malas se convierten en buenas, la tristeza se transforma en Alegría y la soledad no existe.

Mi más sincero agradecimiento al Dr. Alejandro Hernández Herrera, a quien debo el inicio de este tema como proyecto de tesis, y por su apoyo brindado en la

realización del mismo. Al Maestro Ricardo Canales, quien llevo una simple duda a un tema nuevo de donde surgió esto que hoy se culmina como tesis, por eso y por ver en mí el potencial para seguir adelante.

Un agradecimiento especial al Biol. Leopoldo Arce González por su colaboración, paciencia, apoyo brindados desde siempre y sobre todo por esa gran amistad que me brindó y me brinda, por escucharme y aconsejarme siempre y por ser como siempre ha sido conmigo y con el clan; al Ing. Francisco Alemán Granados, por brindarme su ayuda cuando más la he necesitado, por ser una persona con la que puedo contar siempre y por los ánimos que me da. “Grandes personas” con las que he aprendido a vivir en las buenas y en las no tanto.

A mis compañeros y amigos que por motivos personales no mencionare de forma abierta, con los que comparto experiencias y nos ponemos el hombro cada vez que se necesita, por su apoyo y ánimo en cada etapa que se pasa y viene a lo largo de estos años de estudio. Honor a quien honor merece.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	V
I.INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	5
III. HIPÓTESIS	5
IV.REVISION DE LITERATURA	6
4.1 Importancia Del Agua	6
4.1.2 Propiedades del agua	6
4.2 El agua en el suelo	7
4.2.1 Relación Agua-Suelo	8
4.3 Materia Orgánica	9
4.4 Abonos y Sustratos	11
4.4.1Tipos de Sustratos	12
4.4.2 Abonos	14
4.4.2.1 Abonos Orgánicos	14
4.4.2.2Abonos Minerales	15
4.4.3 Lombricomposta	15
4.4.4 Bocashi	16
4.4.4.1 Diferencia entre Bocashi y Compost	17
4.5 Compostas Rápidas	17
4.6 Influencia de los Abonos y Sustratos en la Retención de Agua	18
4.7 Curvas de Retención de Humedad	20
4.8 Modelos Matemáticos	22
4.8.1 La Ecuación Clásica	24
4.9 Regresión	26
V. MATERIALES Y METODOS	28
VI. RESULTADOS Y DISCUSION	31
6.1 Análisis Grafico	31
6.1.1 Curvas de secado	31
6.2Expresion Matemática	40
6.3 Regresión lineal	43
6.4 Discusión	44
VII. CONCLUSIONES	50
VIII. LITERATURA CITADA	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Contenidos de humedad determinados experimentalmente y curva

$$\theta(h) = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{(1 + (\alpha \cdot h)^n)^m}$$

ajustada de acuerdo a la Ecuación	21
Figura 2 Tipos de correlación	27
Figura 3 Tendencia Sigmoideal de la retención de los sustratos	34
Figura 4 Grafica Multisigmoide	35
Figura 5 Características de una curva sigmoide típica	36
Figura 6 Aceleración de la grafica sigmoideo	38
Figura 7 Fracción inicial de la pérdida de agua de los sustratos	45
Figura 8 Pérdida de agua acumulada del testigo	45
Figura 9 Regresión lineal del testigo	45
Figura 10 Pérdida de agua en el suelo	46
Figura 11 Pérdida de agua en los tratamientos	46
Figura 12 Comportamiento de moléculas de agua y arcillas	47

ÍNDICE DE TABLAS

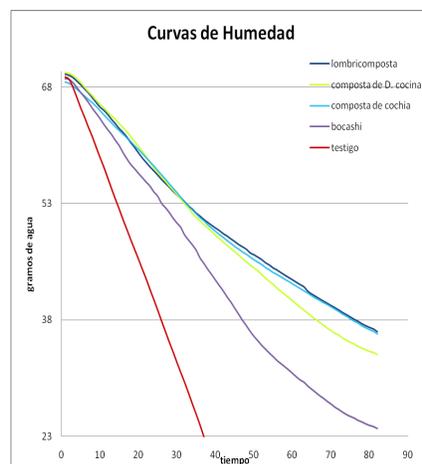
Tabla 1 Tratamientos	30
Tabla 2 Materiales	30

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Grafica 1 curvas de secado por sustratos	31
Grafica 2 Tendencia de Lombricomposta	33
Grafica 3 Tendencia de Composta de D. de Cocina	33
Grafica 4 Tendencia de Composta de Cochia	33
Grafica 5 Tendencia de Bocashi	33
Grafica 6 Pendientes en las curvas de secado de sustratos	37
Grafica 7 Velocidad de secado de sustratos	37
Grafica 8 Curva de regresión ajustada Bocashi	43
Grafica 9 Curva de regresión ajustada Composta de Cochia	43
Grafica 10 Curva de regresión ajustada Composta de D. Cocina	43
Grafica 11 Curva de regresión ajustada Lombricomposta	43

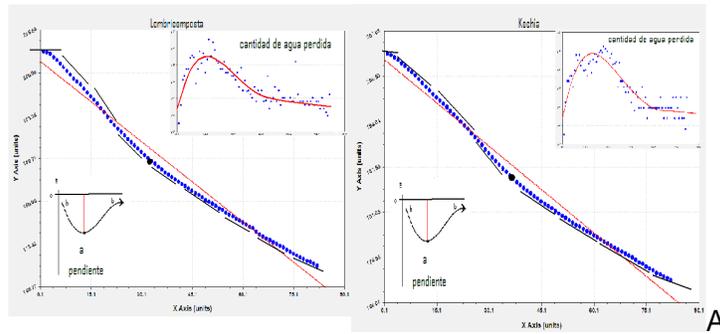
Resumen

El agua en el suelo se comporta de manera muy singular y se ve modificado por la adición de material orgánico, los sustratos orgánicos presentan una mejora en la retención de agua para los cultivos por lo que se aprovecha de mejor manera el agua de riego, prolongando el agua en capacidad de campo. ¿Qué tanto modifica la retención de humedad los sustratos? ¿De qué manera se comportan las curvas de humedad en los sustratos orgánicos. Los sustratos (Lombricomposta, composta de desechos de cocina, composta de residuos de Champiñones y Bocashi) se tamizaron y secaron en la estufa de secado a $110 \pm 5^\circ \text{C}$, se colocaron las muestras de 50 gr. En recipientes de cristal y se saturaron con 50 ml. De agua destilada y se colocaron en la estufa de secado a una temperatura de $60 \pm 5^\circ \text{C}$.; se realizó la evaluación del peso de cada muestra cada 30 min. Y se graficaron los resultados. Los resultados obtenidos del secado de los sustratos se ejemplifican en la siguiente grafica.

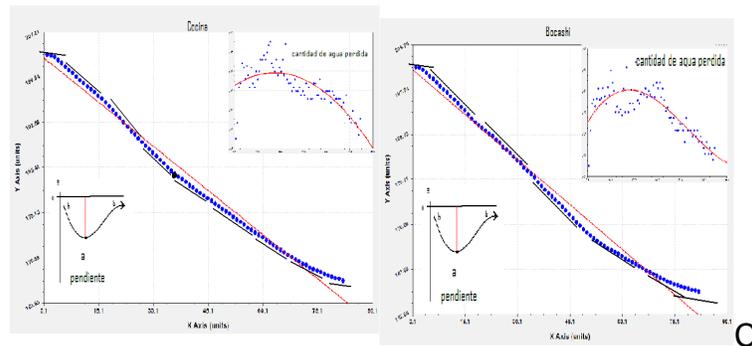


Grafica 1. Curvas de secado por sustratos.

La pérdida de agua muestra comportamientos diferentes entre el testigo y los tratamientos; mientras el testigo presenta un comportamiento de descenso uniforme los demás tratamientos presentan variaciones en la retención de humedad lo que hace que se comporten de manera diferente. Al obtener la aceleración para determinar el comportamiento se obtienen las siguientes graficas:



B



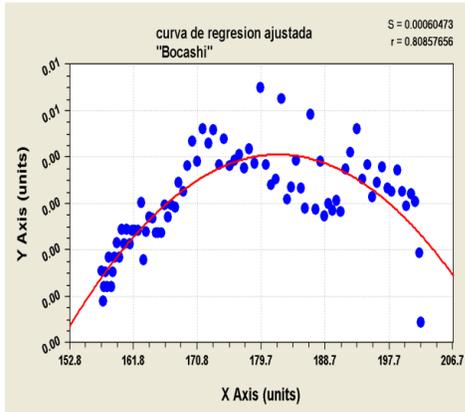
D

A) Lombricomposta; B) Composta de Cochia; C) composta de D. cocina; D) Bocashi. En cada grafica se puede observar tres curvas que describen el comportamiento del cada sustrato en la parte superior derecha la cantidad de agua perdida por unidad de tiempo, la curva intermedia la perdida de agua acumulada y en la parte izquierda inferior la curva de la pendiente.

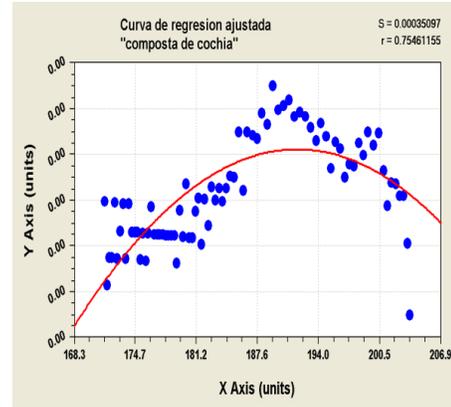
La perdida de humedad de los sustratos por unidad de tiempo expresada en la curva de la parte superior derecha de la gráfica indica que al inicio se tiene una pérdida de agua mínima (cercana a cero), pero a medida que transcurre el tiempo, dicha pérdida aumenta esto marca un incremento en la aceleración de la perdida hasta alcanzar un máximo, este punto máximo coincide con el punto de inflexión, después de este punto la perdida por unidad de tiempo disminuye con tendencia a cero. El comportamiento de la perdida de agua por unidad de tiempo es típico de una parábola invertida esto aunado a la grafica de la pendiente confirma que el comportamiento del agua bajo condiciones de secado en sustratos presenta un comportamiento sigmoide que correspondería a una función logística. Las curvas de humedad de los sustratos presentan una tendencia sigmoide en estos, se presentan una expresión matemática que describe este comportamiento:

$$\frac{dp}{dt} = KP(P_0 - P)$$

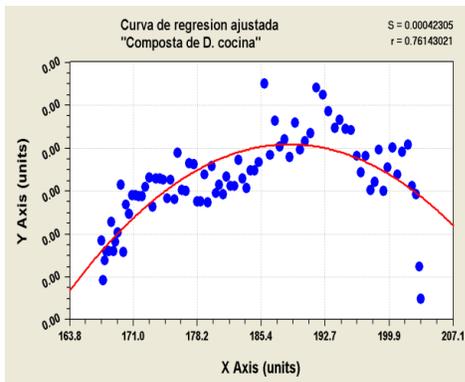
Este modelo explica el comportamiento de las curvas en las cuales: K: es la constante innata del sustrato; P: es el peso inicial;(Po-P): es la pendiente con la que se presenta la curva. La validación del comportamiento se realizo mediante una regresión lineal utilizando las derivadas obtenidas del modelo propuesto y se obtuvieron los siguientes resultados,



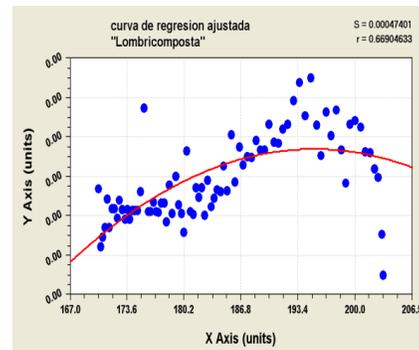
Grafica 8. Curva de regresión Ajustada Bocashi



Grafica 9. Curva de regresión Ajustada Composta de Cochia



Grafica 10. Curva de regresión Ajustada Composta de D. Cocina



Grafica 11. Curva de regresión Ajustada Lombricomposta

La correlación que existe entre las curvas esta dado por la r de pearson que se encuentra en la parte superior derecha de cada grafica y los valores r=0.81 bocashi; r=0.75 composta de cochia; r=0.76 composta de D. cocina r=0.67 describen un grado correlación muy alto entre las variables. La regresión lineal describe una correlación regular y por lo tanto se sostiene que la perdida de agua

de los sustratos orgánicos estudiados en la presente investigación se presenta de forma sigmoide y esto hace que la retención de agua sea mejor.

Palabras clave

Lombricomposta; curvas de humedad, análisis gráfico, sustratos orgánicos, correlación lineal, modelo matemático, curvas de secado, tendencias.

I. INTRODUCCIÓN

En todo el mundo, el empleo del agua y su gestión han sido un factor esencial para elevar la productividad de la agricultura y asegurar una producción previsible. El agua es esencial para aprovechar el potencial de la tierra y para permitir que las variedades mejoradas tanto de plantas como de animales utilicen plenamente los demás factores de producción que elevan los rendimientos.

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas (ONU), la agricultura utiliza tres cuartas partes del agua que se consume a nivel mundial; la industria utiliza 15 por ciento y el uso en los hogares es de un 10 por ciento. El agua juega un papel crucial en la producción y productividad agrícola en México. Hoy en día, la productividad agrícola no solamente debe medirse por el número de toneladas producidas por hectárea, sino también por los metros cúbicos de agua utilizados para producir una tonelada de alimentos.

El agua será un recurso cada vez más escaso en México y el mundo. Por ello, para México resulta imprescindible continuar mejorando la eficiencia en el uso del agua en la agricultura, así como promover su uso de manera sustentable.

La mejora en la utilización del agua tanto en la agricultura de secano como en la de regadío será fundamental para afrontar las situaciones previstas de escasez de agua. La mejora de la utilización o de la productividad del agua se entiende frecuentemente en términos de obtener la mayor cantidad de cultivos posible por

volumen de agua: "más cultivos por gota". el incremento de la productividad en la agricultura puede dar lugar a mayores beneficios por cada unidad de agua tomada de los recursos hídricos naturales.

Se ha buscado hacer más eficiente la utilización del agua en el sector de la agricultura mediante mejoras en los sistemas de riego y se ha dado poca importancia a el papel que juega el suelo en la retención del agua.

El aprovechamiento que las plantas dan a el agua presente en el suelo depende de la capacidad de éste para almacenar grandes cantidades de agua (Narro, 1994).

Un estudio realizado por Graetz expone que si se coloca un suelo rico en materia orgánica en un embudo y un suelo arenoso pobre en materia orgánica en otro y a ambos se le vertieran la misma cantidad de agua se vería que en el primero se filtraría menos cantidad de agua que en el segundo. De lo que se concluye que la materia orgánica ayuda a retener mayor cantidad de agua disponible a las plantas (Graetz, 1988).

Una forma de enriquecer el suelo con materia orgánica es mediante la aplicación de abonos orgánicos que son el resultado de diversos procesos (como el compostaje) que implican la formación de sustratos.

Un sustrato es todo material sólido distinto del suelo, natural, de síntesis o residual, mineral u orgánico, que, colocado en un contenedor, en forma pura o en mezcla, permite el anclaje del sistema radicular de la planta, desempeñando, por

tanto, un papel de soporte para la planta. El sustrato puede intervenir o no en el complejo proceso de la nutrición mineral de la planta.

Un buen sustrato debe reunir un conjunto de características que lo hagan apto para el cultivo. No siempre un sustrato reúne todas las características deseables.

1. Retener Humedad
2. Permitir buena aireación
3. Tener buena estabilidad Física
- 4- Ser químicamente inerte
5. Ser Biológicamente inerte
- 6- Tener buen Drenaje
7. Tener capilaridad

Para los estudios realizados con la pérdida de humedad se emplean las llamadas curvas de humedad, debido a que al graficar los resultados de la pérdida de agua del suelo, estos se pueden apreciar como curvas.

Las curvas de humedad se usan para determinar la porción de agua que puede ser fácilmente absorbida por los pelos absorbentes del sistema radicular de las plantas y para clasificar los suelos para fines de riego (Coras, 2003).

El análisis grafico analiza exclusivamente la información revelada en los gráficos, sin la utilización de herramientas adicionales, es decir, sin necesidad de utilizar

análisis cuantitativo, con el propósito de predecir futuras **tendencias** en el comportamiento.

Para poder predecir la tendencia se tiene que saber de qué tipo de curva se trata por lo que el análisis grafico también define el tipo de curva por su comportamiento.

El concepto de análisis de correlación que es un conjunto de técnicas que se utilizan para conocer la similitud entre dos variables. Los análisis de regresión y correlación nos permiten determinar tanto la naturaleza como la fuerza de una relación entre dos variables; de esta forma, se puede pronosticar, con cierta precisión, el valor de una variable desconocida basándonos en observaciones anteriores de ésta y otras variables.

II. OBJETIVOS

Determinar el comportamiento de la humedad en los cuatro diferentes sustratos orgánicos a evaluar a partir de análisis gráfico y regresión lineal.

III. HIPÓTESIS

El comportamiento de la humedad en los cuatro sustratos orgánicos será de forma similar para todos los casos, es decir las curvas de humedad que se presentaran se clasificaran dentro de un mismo tipo (lineal, exponencial, logística).

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. Importancia Del Agua

El agua en el suelo debe considerarse como un bien importante ya que de ella depende la vida de las plantas, se debe conocer las curvas de humedad que presentan los suelos ya que estos proporcionan medios convenientes para describir las propiedades de liberación de humedad (Winter, 1977).

4.1.2. Propiedades del agua

Las propiedades físicas y químicas del suelo son controladas en gran parte por la arcilla y el humus actuando como centros de reacciones químicas; además de la presencia eléctrica a las cuales se sienten atraídas las moléculas de agua (Buckman y Brady, 1977).

Las reacciones fisiológicas de las plantas dependen fundamentalmente de las propiedades físico-químicas del agua entre las más importantes están las siguientes:

1. Estado: es un líquido, hay pocas sustancias que son líquidas en la naturaleza.
2. Expansión: se expande al enfriarse (la mayoría de los cuerpos se contraen)
3. Densidad: su mayor densidad se obtiene a los 4°C a una atmósfera de presión, indicando esto algunos cambios moleculares dentro del agua.

Estos cambios afectan el desarrollo fisiológico y el rendimiento de la cosecha.

4.2. El Agua en el Suelo

Las fuerzas de adsorción del suelo, la disponibilidad de agua en un suelo dado es inversamente proporcional a la fuerza de absorción que retiene el agua adherida a la partícula del suelo (Narro, 1994).

La cantidad y el estado energético del agua en el suelo influyen en las propiedades del suelo más que ningún otro factor (Baldovino, 1957).

Las partículas de formas irregulares que constituyen el suelo no se ajustan estrechamente unas a otras por lo que de manera inevitable quedan espacios entre ellas y el volumen relativo de los huecos entre el material sólido se llama espacio poroso total (Winter, 1977).

Es importante conocer la porosidad porque esta influye en la capacidad de retención del agua, sobre el movimiento del aire, del agua y del crecimiento del sistema radicular de las plantas en el suelo (Coras 2003).

El agua y el aire ocupan el espacio de poros del suelo. Todos los poros están llenos de agua líquida en estado de saturación y en el concepto de agua deben incluirse las sustancias (sales y gases). Y disueltas en ellas el volumen del agua disminuye se vacían primero los poros grandes y el agua retenida firmemente en los poros pequeños: los intersticios entre partículas y las superficies de las partículas. Se entiende por agua del suelo la que puede ser extraída por

deseccación hasta peso constante en estufa a 110°C. El intervalo de temperaturas para este secamiento es de 100 a 400°C. Además las materias orgánicas se oxidan a baja temperaturas por eso no es posible definir el estado de absoluta sequedad de un suelo que contenga uno o más minerales o materia orgánica (Baver *et al*, 1980).

El agua del suelo generalmente se encuentra alojada en los poros cuyo diámetro es menor de 10 micras puesto que los poros de mayor tamaño drenan fácilmente el agua y permanecen ocupados por aire (Narro, 1994).

4.2.1. Relación Agua-Suelo

Es probable que las principales fuentes de atracción sean: primero, los enlaces de hidrogeno (la atracción mutua que existe entre los átomos de oxigeno del agua y la superficie de las partículas del suelo con respecto a los átomos de hidrogeno del agua) y el segundo la hidratación de los cationes intercambiables (Black, 1975).

4.3. Materia Orgánica

La materia orgánica actúa como granulador en las partículas minerales. La materia orgánica y los microorganismos forman migajones (Bures, 1997).

Si se coloca un suelo rico en materia orgánica en un embudo y un suelo arenoso pobre en materia orgánica en otro y a ambos se le vertieran la misma cantidad de agua se vería que en el primero se filtraría menos cantidad de agua que en el segundo. De lo que se concluye que se que la materia orgánica ayuda a retener mayor cantidad de agua disponible a las plantas (Graetz, 1988).

El contenido de materia orgánica influye en distintos aspectos sobre el balance del agua en el suelo. Primero porque los parámetros que afectan el movimiento y la retención del agua en suelo son de carácter físico- textura, estructura y porosidad- y están relacionados con el contenido y el estado de la materia orgánica y con la actividad edáfica y por otra parte porque la gran hidrofilia de los coloides húmicos hace aumentar la capacidad del suelo para retener agua (Labrador, 2001).

Factores que condicionan la capacidad de agua disponible o agua útil.

- ❖ Textura: Los suelos de textura fina – mayor proporción de poros pequeños que almacenan más agua que aire- retienen mayor cantidad de agua que los de textura gruesa.
- ❖ Estructura: Suelos con buena estructura tienen mayor capacidad de retención de agua disponible. Disminución de la formación de costras favoreciendo la infiltración
- ❖ Materia orgánica: Acción positiva sobre la porosidad, gran hidrofilia de los coloides húmicos, acción estructurante, por lo que retiene mayor cantidad de agua en el suelo.
- ❖ Espesor del suelo explorado por las raíces: Un suelo profundo puede retener gran parte de las necesidades de agua de una cosecha.
- ❖ Secuencia de capas en el perfil: Puede provocar fenómenos de mayor o menor permeabilidad. (capa arcillosa, suelo de labor)

La optimización del balance del agua está íntimamente relacionada con el contenido en materia orgánica en cantidad y calidad (Labrador, 2001).

4.4. Abonos y Sustratos

En términos genéricos, podemos decir que se llama sustrato al soporte (generalmente el suelo, pero no siempre) en el cual se fijan las plantas y los animales y Llamamos **abono**, a un producto mediante el cual lo que se pretende es modificar la estructura del suelo (la tierra, el sustrato) para mejorarla (www.jardineria.pro/).

Las propiedades físicas y químicas de los suelos son controladas en gran parte por la arcilla y el humus actuando como centros de reacciones químicas; además de presencias eléctricas a las cuales se sienten atraídas las moléculas de agua (Buckman y Brady, 1977).

La materia orgánica está formada de materiales frescos, plantas parcial o completamente descompuesta y humus. El humus es el producto final de la descomposición (Gines, 1985). Por lo que los sustratos derivados de la descomposición de la materia orgánica son ricos en humus.

El humus formado en el compostaje tiene un carácter coloidal formando un complejo con las arcillas. Los coloides son pequeñas partículas que tienen en su superficie cargas eléctricas determinando comportamientos químicos específicos. Los coloides arcillosos poseen cargas negativas en cambio el humus posee cargas positivas; el complejo formado arcilloso-húmico contribuye a la estructuración del suelo posibilitando agregados muy estables que mejoran la permeabilidad, capacidad de reserva del agua, drenaje y cantidad de oxígeno en

el perfil del mismo (Rodríguez, 2005). Es por ello que se sostiene que” los abonos aumentan la eficiencia del agua” (Gardman, 1988)

Los abonos no disminuyen el consumo de agua, si no que aumenta su eficiencia y disminuye la evapotranspiración del suelo aumentando el porcentaje de agua del suelo (Gros, 1981).

4.4.1 Tipos de sustratos

Existen diferentes criterios de clasificación de los sustratos, basados en el origen de los materiales, su naturaleza, sus propiedades, su capacidad de degradación.

Según el origen de los materiales pueden considerarse como de:

Materiales orgánicos.

- De origen natural. Se caracterizan por estar sujetos a descomposición biológica (turbas).
- De síntesis. Son polímeros orgánicos no biodegradables, que se obtienen mediante síntesis química (espuma de poliuretano, poliestireno expandido, etc.).
- Subproductos y residuos de diferentes actividades agrícolas, industriales y urbanas. La mayoría de los materiales de este grupo deben experimentar un proceso de compostaje, para su adecuación como sustratos (cascarillas de arroz, pajas de cereales, fibra de coco, orujo de uva,

cortezas de árboles, serrín y virutas de la madera, residuos sólidos urbanos, lodos de depuración de aguas residuales, etc.).

Materiales inorgánicos o minerales.

- De origen natural. Se obtienen a partir de rocas o minerales de origen diverso, modificándose muchas veces de modo ligero, mediante tratamientos físicos sencillos. No son biodegradables (arena, grava, tierra volcánica, etc.).
- Transformados o tratados. A partir de rocas o minerales, mediante tratamientos físicos, más o menos complejos, que modifican notablemente las características de los materiales de partida (perlita, lana de roca, vermiculita, arcilla expandida, etc.).
- Residuos y subproductos industriales. Comprende los materiales procedentes de muy distintas actividades industriales (escorias de horno alto, estériles del carbón, etc.).

Las turbas.

Las turbas son materiales de origen vegetal, de propiedades físicas y químicas variables en función de su origen. Se pueden clasificar en dos grupos: turbas rubias y negras. Las turbas rubias tienen un mayor contenido en materia orgánica y están menos descompuestas, las turbas negras están más mineralizadas teniendo un menor contenido en materia orgánica. Es más frecuente el uso de turbas rubias en cultivo sin suelo, debido a que las negras tienen una aireación deficiente y unos contenidos elevados en sales

solubles. Las turbias rubias tiene un buen nivel de retención de agua y de aireación, pero muy variable en cuanto a su composición ya que depende de su origen. La inestabilidad de su estructura y su alta capacidad de intercambio catiónico interfiere en la nutrición vegetal, presentan un pH que oscila entre 3,5 y 8,5. Se emplea en la producción ornamental y de plántulas hortícolas en semilleros (www.infoagro.com/).

4.4.2. Abonos

El abono es cualquier sustancia orgánica o inorgánica que mejora la calidad del sustrato a nivel nutricional para las plantas arraigadas en éste (es.wikipedia.org/).

Los abonos pueden ser de dos tipos: orgánicos y minerales.

4.4.2.1 Abonos orgánicos

Los abonos orgánicos son generalmente de origen animal o vegetal. Pueden ser también de síntesis (urea por ejemplo). Los primeros son típicamente desechos industriales tales como desechos de matadero (sangre desecada, cuerno tostado,) desechos de pescado, lodos de depuración de aguas. Son interesantes por su aporte de nitrógeno de descomposición relativamente lenta, y por su acción favorecedora de la multiplicación rápida de la microflora del suelo, pero enriquecen poco el suelo de humus estable.

4.4.2.2 Abonos Minerales

Los abonos minerales son sustancias de origen mineral, producidas bien por la industria química, bien por la explotación de yacimientos naturales (fosfatos, potasa).

Dentro de los abonos orgánicos podemos encontrar

- Estiércoles
- Guano, gallinaza, palomina...
- Compost
- Turba
- Extractos húmicos
- Otros abonos orgánicos

4.3 Lombricomposta

Es un abono orgánico, al cual se le ha descubierto cualidades realmente sorprendentes para el cultivo de todo tipo de planta, árboles, hortalizas, plantas de ornato y todo tipo de plantas en general. Este producto provee resultados inmediatos, debido que las plantas absorben más rápido los nutrientes (www.elcolibri.com.mx).

Beneficios

- Aporta cantidades equilibradas de nutrientes.
- Beneficia el suelo con millones de microorganismos.

- Favorece la asimilación de las micronutrientes de la planta a través de enzimas.
- Logra una mejor aireación al modificar la estructura del suelo.
- No existe peligro de sobredosis.
- Contribuye con el mejoramiento de cualquier tipo de planta.
- No tiene vencimiento, ya que a medida que pasa el tiempo es más asimilable.
- Reemplaza al mantillo, la resaca y cualquier clase de abono inorgánico (sales minerales).
- Mejora la salud de la planta, haciéndola más resistente a las plagas.

4.4.4 Bocashi

Bokashi es una palabra japonesa que significa “materia orgánica fermentada”; tradicionalmente, para la preparación del Bocashi, los agricultores japoneses usan materia orgánica como sémola de arroz, torta de soya, harina de pescado y suelo de los bosques como inoculante de microorganismos. Estos suelos contienen varios microorganismos benéficos que aceleran la preparación del abono. El Bocashi ha sido utilizado por los agricultores japoneses como un mejorador del suelo que aumenta la diversidad microbiana, mejora las condiciones físicas y químicas, previene enfermedades del suelo y lo suple de nutrientes para el desarrollo de los cultivos.

4.4.4.1 Diferencia entre Bocashi y Compost.

El objetivo principal del uso del Compost es suministrar los minerales como en la nutrición inorgánica a los cultivos. En la preparación del Compost, los minerales que atrapados en la materia orgánica fresca se vuelven de fácil absorción para las plantas y se eliminan los patógenos que podrían estar en la materia orgánica fresca y causar daño al cultivo. Se recomiendan temperaturas relativamente altas, (50°C – 70°C) para asegurar que mueran los microorganismos patogénicos.

El objetivo principal del Bokashi es activar y aumentar la cantidad de microorganismos benéficos en el suelo, pero también se persigue nutrir el cultivo y suplir alimentos (materia orgánica) para los organismos del suelo. El suministro deliberado de microorganismos benéficos asegura la fermentación rápida y una mayor actividad de estos microorganismos benéficos elimina los organismos patogénicos gracias a una combinación de la fermentación alcohólica con una temperatura entre 40-55°C (www.ison21.es).

4.5 compostas rápidas

Los montículos calientes trabajan mejor cuando el material alto en carbono y el material alto en nitrógeno son mezclados a proporción de 1 a 1. Las dimensiones mínimas que el montículo debe tener para generar calor eficientemente son de 1 m por 1 m.

Los montículos de 1.3 m a 1.8 m de dimensión son los más eficientes en generar el calor necesario para el proceso de descomposición del material orgánico. Según ocurra la descomposición, el montículo se reducirá.

Los montículos calientes generan de 50° C. Este calor destruye todas las semillas de maleza y cualquier enfermedad que exista en el materia vegetativo. Estudios han demostrado que la composta producida a esta temperatura tiene menos habilidad para controlar la enfermedad en los suelos ya que estas temperaturas destruyen algunos de las bacterias necesarias para controlar las enfermedades en los suelos. Las altas temperaturas destruyen algunas de las bacterias necesarias para controlar las enfermedades en los suelos. Este tipo de compostas puede realizarse con diferentes materiales orgánicos (yuyugreen.obolog.com).

4.6 Influencia de los Abonos y Sustratos en la Retención del Agua

Los abonos aumentan la eficiencia del agua (Gardman, 1988). Se admite que las soluciones del suelo son más concentradas y que para absorber la misma cantidad de nutrientes la planta necesita menos agua.

Los abonos no disminuyen el consumo de agua, si no que aumenta su eficiencia. Pero disminuye la evapotranspiración del suelo aumentando el porcentaje de agua del suelo (Gros, 1981). Los principales abonos orgánicos son: estiércol animal, composta, abonos verdes, residuos de cosechas, residuos orgánicos industriales y aguas negras.

Los abonos orgánicos mejoran las propiedades físicas de los suelos principalmente en los que se refiere a la velocidad de infiltración, conductividad hidráulica, retención de agua, densidad aparente y estabilidad de los agregados.

La retención de humedad aumenta al aumentar la cantidad de abono orgánico, en cambio la densidad aparente disminuye, indicando un aumento en la porosidad del suelo (Jiménez, 1992).

El efecto del abono orgánico en la respuesta de los cultivos debe interpretarse como el efecto conjunto que un abono orgánico ejerce sobre las propiedades físicas, químicas, biológicas y nutricionales que repercuten en un mejor desarrollo y rendimiento de los cultivos (Trinidad, 1987).

El humus formado en el compostaje tiene un carácter coloidal formando un complejo con las arcillas. Los coloides son pequeñas partículas que tienen en su superficie cargas eléctricas determinando comportamientos químicos específicos. Los coloides arcillosos poseen cargas negativas en cambio el humus posee cargas positivas; el complejo formado arcilloso-húmico contribuye a la estructuración del suelo posibilitando agregados muy estables que mejoran la permeabilidad, capacidad de reserva del agua, drenaje y cantidad de oxígeno en el perfil del mismo (Rodríguez, 2005).

4.7 Curvas De Retención De Humedad

Las curvas de retención de humedad expresan la relación entre el contenido de humedad y su potencial (<http://ocw.upm.es/>)

Las curvas de retención de humedad de cada uno de los suelos empleados se presentan en la Figura 1, y se pueden diferenciar claramente dos grupos de suelos de acuerdo a sus propiedades de retención. El primero está constituido por los suelos del valle del Maipo y Chicureo (Figuras 1a y 1b), los cuales exhiben una gran capacidad de retención de agua para tensiones cercanas a cero, con valores del orden de 0,35 y 0,30 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$, respectivamente. El segundo grupo lo constituyen los suelos de terraza marina, secano costero y Curacaví (Figuras 1c, 1d y 1e), en cuyo caso los valores de retención de humedad, obtenidos experimentalmente para tensiones cercanas a cero, bordean los 0,20 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ (Bonilla y Cancino, 2001).

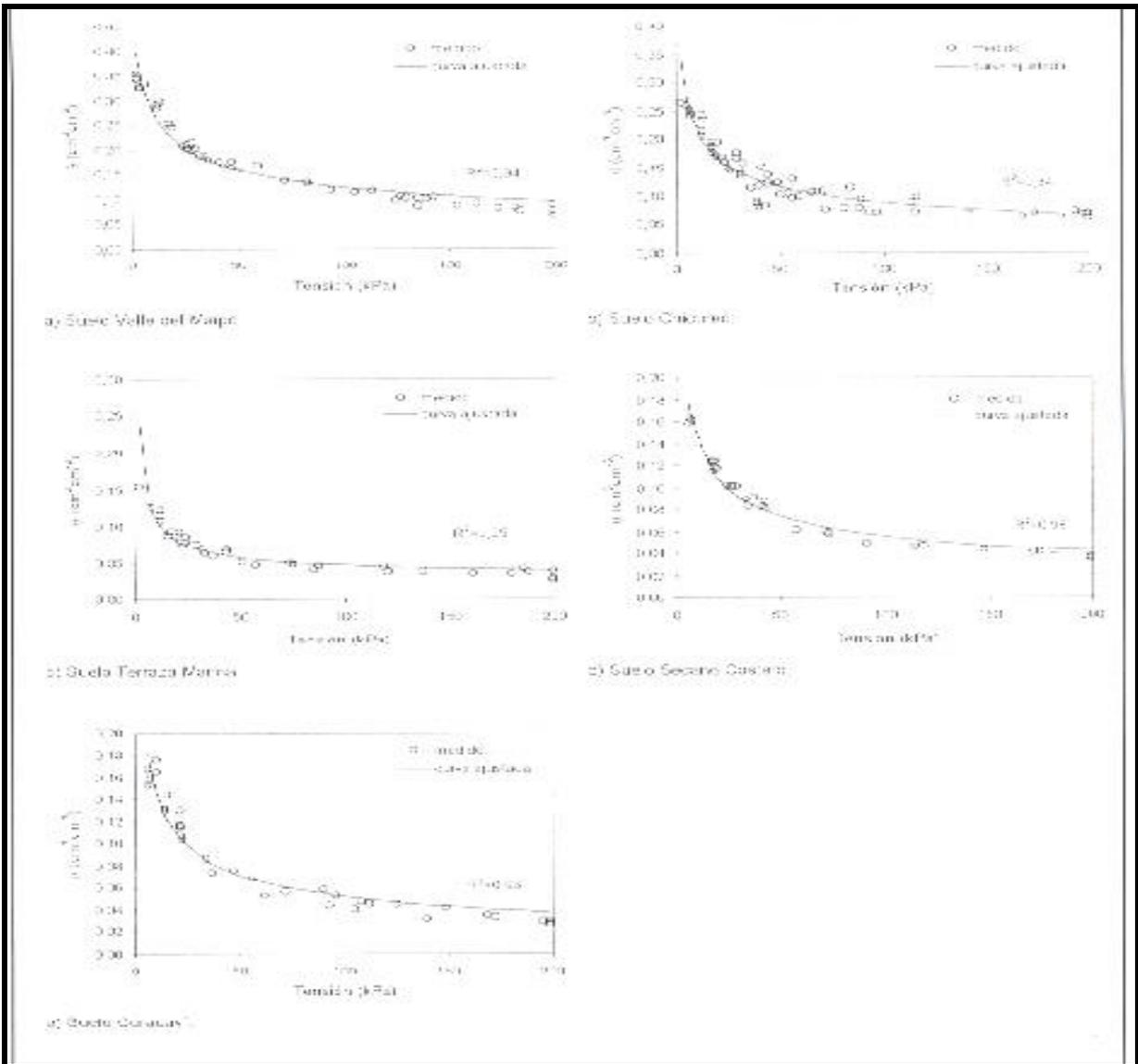


Figura 1. Contenidos de humedad determinados experimentalmente y curva

ajustada de acuerdo a la Ecuación

$$\theta(h) = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{(1 + (\alpha \cdot h)^n)^m}$$

4.8. MODELOS MATEMATICOS

Uno de los primeros modelos matemáticos aplicados en la investigación y de los que se tiene mayor conocimiento fue utilizado en el estudio de poblaciones. Cuando se comenzó el estudio de la dinámica de poblaciones por medio del modelo de Malthus se comprobó que no se ajustaba a la realidad. Ninguna población puede crecer indefinidamente a una tasa constante. Solo para casos de cultivos de bacterias en cortos periodos de tiempo en los que el sustrato es suficiente, el modelo malthusiana puede tenerse en cuenta (www.scielo.cl).

Cuando una población llega a ser demasiado numerosa, aparecen restricciones del medio en forma de limitaciones de espacio, de recursos, etc. , que harán disminuir la tasa de crecimiento o, incluso, que la harán negativa provocando que la población disminuya. Es más realista suponer que el medio solo puede sostener de manera estable un máximo K de población (la capacidad de soporte del medio), de modo que si

- $x(t) > K$, la tasa será negativa y la población decrecerá acercándose a K .
- Si $x(t) = K$ la tasa será nula y, por tanto, la población constante.
- Si $x(t) < K$, la tasa será positiva, creciendo entonces la población, Aunque mas lentamente cuanto más próxima este del valor de K .

Una forma de reflejar matemáticamente este comportamiento es imponer que la tasa de crecimiento x'/x sea proporcional a la diferencia $(K - x)$. Se tiene así la denominada ecuación logística (clásica), que reformulamos como,

$$x' = Ax(1 - x).$$

Es fácil ver que en este caso hay dos equilibrios, $x = 0$ y $x = 1$, inestable y estable respectivamente. Un modelo más complicado es cuando se admite difusión espacial, en este caso la ecuación logística más simple, también conocida como ecuación de Fisher-Kolmogoro, se escribe, en su versión más simple, como

$$u_t - D\Delta u = Au(1 - u).$$

Otros modelos de Ecuación logística mas general son, por ejemplo,

$$x' = x^\alpha(1 - x)^\beta,$$

Donde $\alpha, \beta \in \mathbb{R}$.

En el caso de la ecuación logística clásica haremos el estudio de la ecuación discreta, es decir, con paso de tiempo unitario. A tal efecto, precisaremos algunos conceptos que van a ser usados de forma sistemática.

Sea

$$f : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$$

Una función suficientemente regular.

Dado $x_0 \in \mathbb{R}$ definimos $x_1 = f(x_0)$ y en general $x_{k+1} = f(x_k)$.

Se dice que x es un punto de equilibrio para f , o que es un punto fijo, si

$$x = f(x).$$

4.8.1. LA ECUACIÓN CLÁSICA

La ecuación logística clásica está definida por la reincidencia:

$$x_{n+1} = A \cdot x_n \cdot (1 - x_n), \quad A > 0 \quad (1)$$

En otras palabras, dado un valor inicial x_0 , generamos un nuevo valor x_1 a partir de la relación $x_1 = A \cdot x_0 \cdot (1 - x_0)$ y luego repetimos el proceso para generar x_2 a partir de x_1 , y así sucesivamente.

Obsérvese que esta recurrencia consiste en iterar la función uníparamétrica,

$$f(A, x) = A \cdot x \cdot (1 - x) \quad (2)$$

Denomina aplicación logística.

Nótese que para cualquier valor de A , $f(A, 0) = f(A, 1) = 0$.

Los puntos fijos de $f(A; x)$ son las soluciones de la ecuación $x = f(A, x)$, es decir, las soluciones de

$$x = A \cdot x \cdot (1 - x) \quad (3)$$

Resolviendo algebraicamente la ecuación (3), aparecen dos puntos fijos 0 y

$$p_A = 1 - \frac{1}{A}.$$

Además:

1. Si $A > 1$ entonces $p_A \in (0, 1)$.

2. Como $f'(A, x) = A \cdot (1 - 2x)$ resulta

$$f'(A, 0) = A \quad \text{y} \quad f'(A, p_A) = 2 - A$$

Dada la iteración (1), es decir,

$$x_{n+1} = A \cdot x_n \cdot (1 - x_n), \quad A > 0,$$

Se escribe como,

$$\begin{cases} x_1 = f(x_0) \\ x_2 = f(f(x_0)) = f^2(x_0) \\ \dots \\ x_n = f^n(x_0) \end{cases}$$

4.9 REGRESIÓN

Parte de la estadística corresponde a la estadística Inferencial y dentro de ella los capítulos de correlación y regresión son muy usados en la Investigación Científica, una herramienta muy útil cuando se trata de relacionar 2 o más variables, relacionadas entre sí, la correlación implica el grado de dependencia de una variable respecto a otra (www.Monografias.com).

La regresión lineal técnica que usa variables aleatorias, continuas se diferencia del otro método analítica que es la correlación, porque esta última no distingue entre las variables respuesta y la variable explicativa por que las trata en forma simétrica (www.Monografias.com).

La matematización nos da ecuaciones para manipular los datos. En la regresión tenemos ecuaciones que nos representan las diferentes clases de regresión:

Regresión Lineal: $y = A + Bx$

Regresión Logarítmica: $y = A + B\ln(x)$

Regresión Exponencial: $y = Ac^{(bx)}$

Regresión Cuadrática: $y = A + Bx + Cx^2$

También existen gráficos que representan la dispersión de datos dentro de las coordenadas cartesianas, ó sea las nubes de puntos y que pueden darse según la relación que representa, que puede ser lineal, exponencial y sin relación, esta última cuando los puntos están dispersos en todo el cuadro sin agruparse lo cual sugiere que no hay relación (www.Monografias.com).

Los gráficos siguientes nos muestran esta relación:

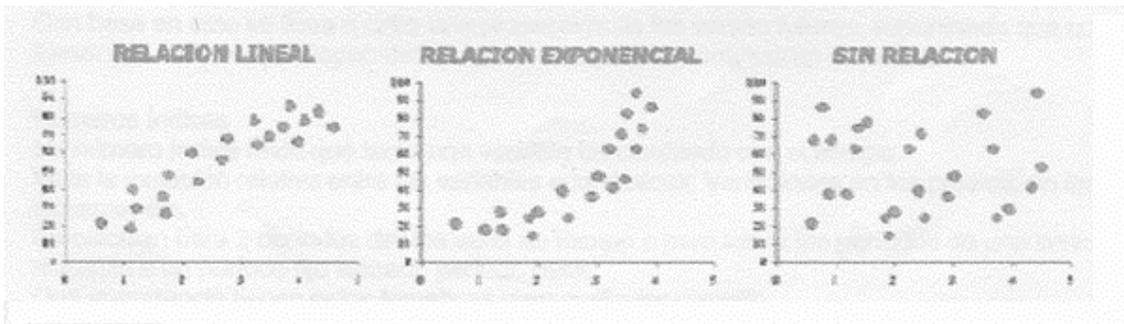


Figura 2. Tipos de correlacion.

Matemáticamente las ecuaciones serían:

Ajuste Lineal: $Y = Bx + A$

Ajuste Logarítmico: $Y = B \ln X + A$

Ajuste Exponencial: $Y = AC^{BX}$

V. MATERIALES y MÉTODOS

La presente investigación se realizó en el laboratorio de pedología del Departamento de Ciencias del Suelo de la División de Ingeniería de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en el campús sede en Buenavista, Coahuila, a siete kilómetros al sur de la ciudad de Saltillo sobre la carretera 54 a Zacatecas.

La investigación se inicio con el tamizado y secado de los sustratos (Lombricomposta, composta de desechos de cocina, composta de residuos de Champiñones y Bocashi) se colocaron en la estufa de secado a una temperatura de $110^{\circ} \pm 5^{\circ} \text{C}$ hasta su deshidratación completa (24 horas después).

Los tratamientos consistieron en muestras de 50 gr. de cada sustrato, y como testigo se utilizo una muestra de 50 ml de agua destilada, los cuales fueron colocados en recipientes de cristal a los que previamente se les había obtenido el peso; cada tratamiento conto con cuatro repeticiones.

Una vez contando con los tratamientos y sus respectivas repeticiones se procedió a aplicar 50 ml. de agua destilada para saturarlos (excepto al testigo), después de agregar el agua destilada se tomo el peso de los recipientes y se colocaron en la estufa de secado a una temperatura de $60 \pm 5^{\circ} \text{C}$.

La evaluación del peso de los tratamientos se realizo periódicamente cada 30 min, hasta que la pérdida de agua no fue significativa, considerando para este parámetro el valor repetido de tres mediciones consecutivas. De los resultados obtenidos de cada tratamiento se tomo la media de los valores por unidad de

tiempo y se graficaron para determinar el comportamiento que presenta la pérdida de agua de cada sustrato.

Para determinar la forma típica de la gráfica mediante el análisis gráfico de la tendencia de la curva, se utilizó el Paquete Estadístico "CurveExpert v.1.3" de Daniel G. Hyams. Este permite al usuario ajustar una cantidad de Modelos poco usuales en materia evaluatoria que realiza una exploración exhaustiva del ajuste de la curva automatizado que permite comparar los datos a cada modelo y así elegir la mejor curva.

Designada la tendencia de la curva, se propuso un modelo matemático que describe el comportamiento de la gráfica (lineal, exponencial, logarítmica). del modelo propuesto se determinaron los valores para **X** y **Y** mediante el despeje del modelo, estos valores (X,Y) obtenidos se utilizaron para el análisis de regresión lineal que se realizó en el programa Excel y así determinar la correlación que existe entre la curva y la pérdida de agua; y si la fórmula describe correctamente la tendencia de la curva.

Para determinar el grado de intensidad de correlación entre las variables se utilizó el diagrama de dispersión (típico de la regresión lineal) donde se representa la similitud de las dos variables; para ello se recurrió al coeficiente de correlación (r de Pearson) que indica el grado de correlación con valores entre +1y -1.

Tratamientos

Tratamientos	Cantidad (gr)	ml de agua para saturación	No. de repeticiones
Lombricomposta	50	50	3
Bocashi	50	50	3
Composta de cocina	50	50	3
Composta de champiñón	50	50	3
Testigo	—	50	3

Tabla1. Tratamientos

Materiales

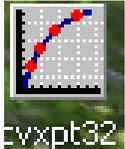
Sustratos	Material de Laboratorio	Programas
Composta de desechos de cocina	Estufa De Secado 	CurveExpert v.1.3 
Composta de champiñones	Probeta de 50 ml	Excel 2007 
Lombricomposta	Balanza granataria 	—
Bocashi	Recipientes de cristal	—
—	Agua destilada	—

Tabla2. Materiales

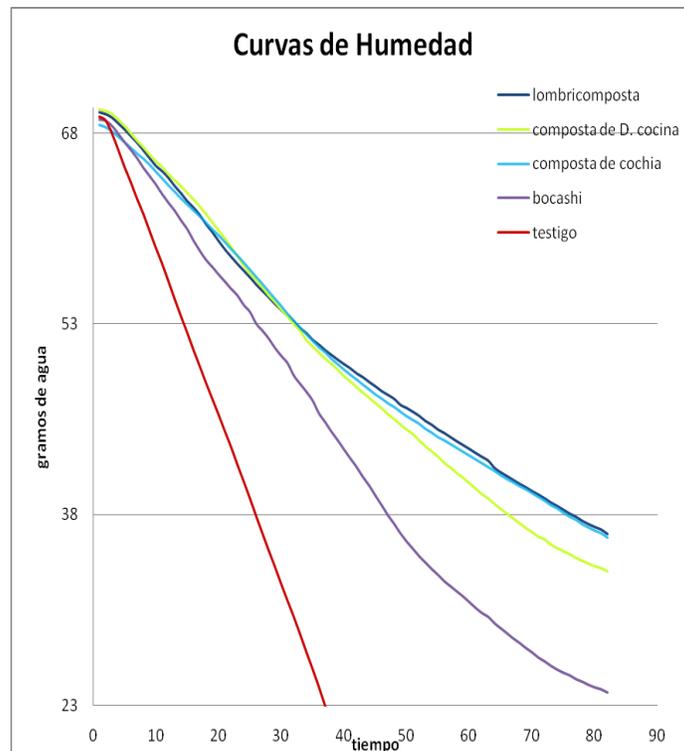
VI. RESULTADOS Y DISCUSION

6.1 Análisis grafico

6.1.1 Curvas de secado

Los resultados obtenidos del secado de los sustratos se ejemplifican en la siguiente grafica.

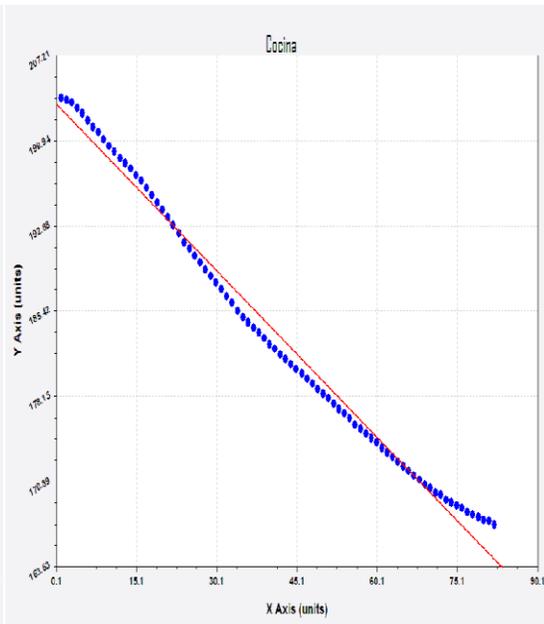
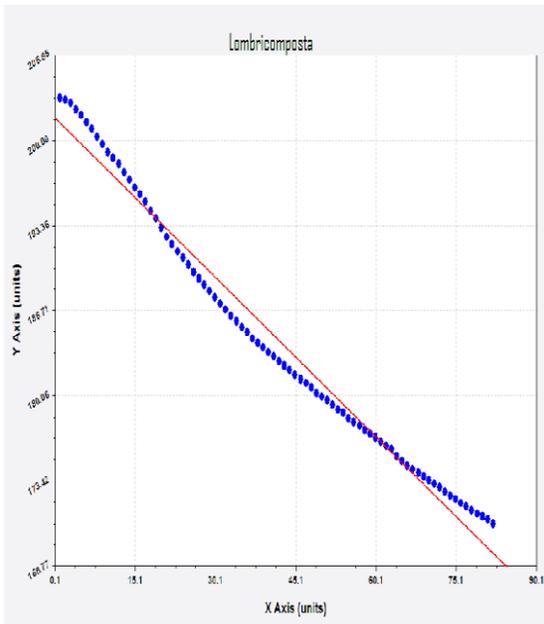
Grafica 1. Curvas de secado por sustratos.



La pérdida de agua muestra comportamientos diferentes entre el testigo y los tratamientos; mientras el testigo presenta un comportamiento de descenso uniforme los demás tratamientos presentan variaciones en la retención de humedad lo que hace que se comporten de manera diferente como lo indican las curvas en la grafica 1.

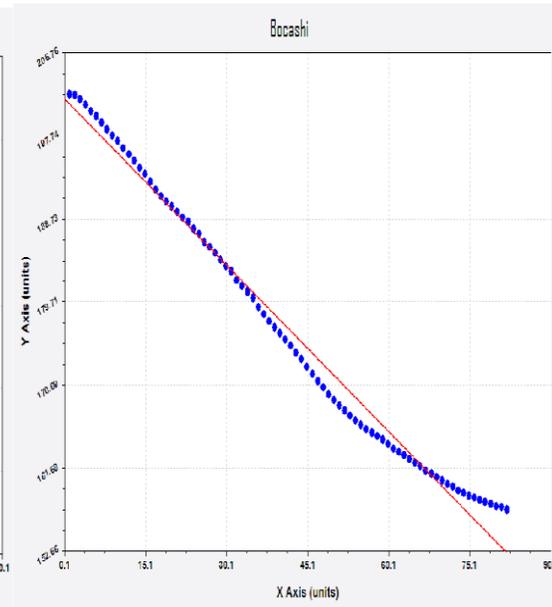
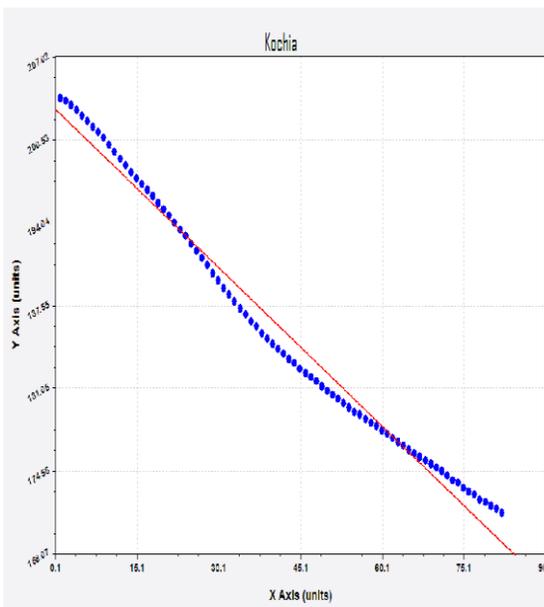
Al analizar la retención de los sustratos se aprecia que tres de estos presentan una pérdida de agua similar agrupando a las curvas con una tendencia muy similar mientras que la curva que presenta el bocashi se separa de los demás lo que denota una menor retención de agua comparado con los demás tratamientos pero aun es mayor que la que presenta el testigo.

Considerando que los distintos sustratos presentan pérdidas y/o retenciones de agua diferentes se prosigue por determinar el comportamiento de la curva generada durante el secado de estos. Para ello se utiliza el programa curve expert 3.2 que hace pasar una recta por las graficas de las pérdidas de agua para enmarcar su comportamiento, tal como se aprecia en las graficas siguiente.



A

B



C

D

A) Grafica 2. Tendencia de lombricomposta; B) Grafica 3. Tendencia de composta de D. de cocina; C) Grafica 4. Tendencia de composta de cochia; D) Grafica 5. Tendencia de Bocashi

Al enmarcar el comportamiento mediante la recta se hace notar que los sustratos presentan una tendencia de descenso muy similar, con una concavidad y con los extremos por encima de la recta. Lo anterior marca una tendencia sigmoideal (en forma de “S”) imagen 1.

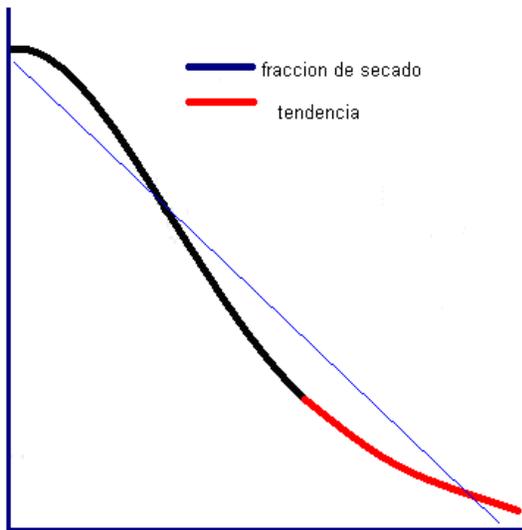


Figura 3. Tendencia sigmoideal de la retención de los sustratos

Teniendo en cuenta que para la investigación los sustratos presentan los mismos pesos y las mismas cantidades de agua y añadiendo a esto la forma sigmoide de la curva, entonces se tiene que en la proyección de la grafica se tendra una curva multisigmoide con el mismo punto de inicio y con tendencia a cero por lo que las variantes de retencion se tendran en la parte media, esto para los casos del presente estudio.

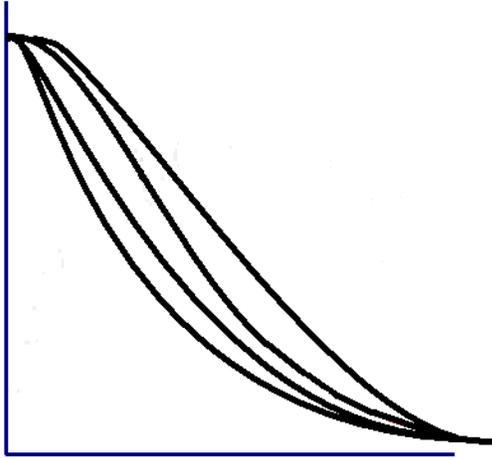
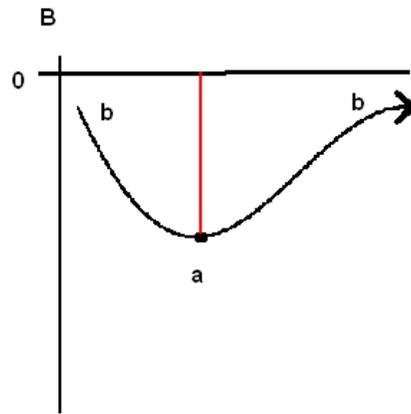
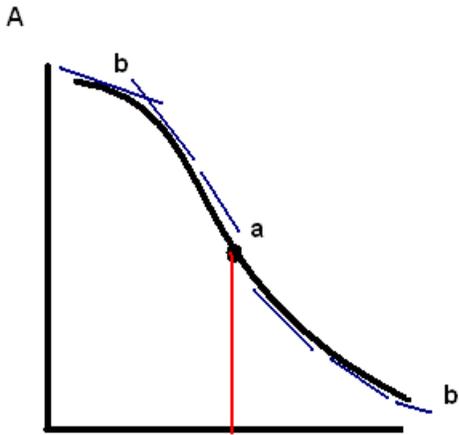


Figura 4. Grafica multisigmoide

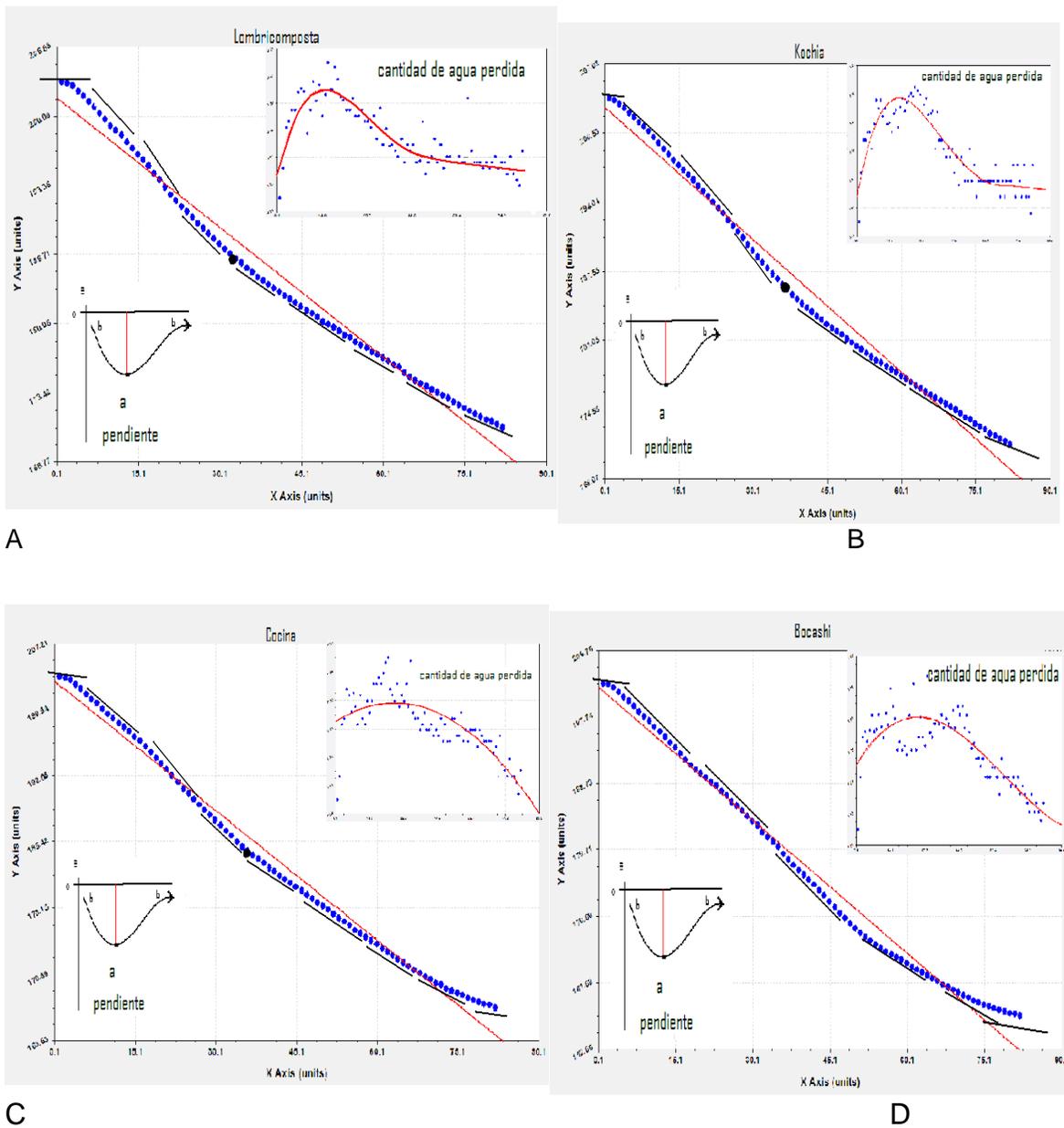
Para determinar lo mencionado anteriormente de que las curvas de secado se comportan de forma sigmoide, esta tiene que cumplir con las características que identifican a una grafica de este tipo. La curva sigmoideo se divide en tres partes y en este caso se trata de una sigmoide invertida, por lo que en la primera parte se caracteriza por presentar una pendiente negativa, que llega a un punto máximo, este punto es la segunda fracción de la curva conocida como punto de inflexión, en la que la pendiente ha alcanzado un límite en su tendencia; y después de este punto, la pendiente cambia a positiva constituyendo la tercera parte de curva, (imagen 3) .para verificar la similitud entre las curvas estas deben presentar dichas características.



A. Grafica 6. Pendientes en la curva de secado de sustratos; B. Grafica 7. Velocidad de secado de sustratos; a) Punto de inflexión; b) Tendencia a cero en la velocidad.

Al obtener la aceleración y el estudio grafico del comportamiento de los tratamientos evaluados se puede apreciar más claramente la misma tendencia sigmoide, tal y como se muestra en las siguientes gráficas.

Figura 6. Aceleración de la grafica sigmoide



A) Lombricomposta; B) Composta de Cochia; C) composta de D. cocina; D) Bocashi. En cada grafica se puede observar tres curvas que describen el comportamiento del cada sustrato en la parte superior derecha la cantidad de agua perdida por unidad de tiempo, la curva intermedia la perdida de agua acumulada y en la parte izquierda inferior la curva de la pendiente.

La perdida de humedad de los sustratos por unidad de tiempo expresada en la curva de la parte superior derecha de la gráfica indica que al inicio se tiene una pérdida de agua minima (cercana a cero), pero a medida que transcurre el tiempo, dicha perdida aumenta esto marca un incremento en la aceleración de la perdida

hasta alcanzar un máximo, este punto máximo coincide con el punto de inflexión, después de este punto la pérdida por unidad de tiempo disminuye con tendencia a cero. El comportamiento de la pérdida de agua por unidad de tiempo es típico de una parábola invertida esto aunado a la grafica de la pendiente confirma que el comportamiento del agua bajo condiciones de secado en sustratos presenta un comportamiento sigmoide que correspondería a una función logística.

La curva de secado de sustratos presenta una tendencia sigmoide con una rapidez de cambio negativo cercana a cero alcanzando una máxima rapidez de cambio ubicada en el punto de inflexión y después de este la velocidad empieza a disminuir y en la parte final presenta nuevamente una tendencia cercana a cero en la velocidad (Canales,2008) grafica 2. Es decir la rapidez de secado tiende a cero en los extremos y en el punto medio un máximo de decrecimiento que corresponderá al punto de inflexión.

El comportamiento de la pérdida de agua por unidad de tiempo es típica a una parábola invertida, esto aunado a la grafica de la pendiente confirman que la pérdida de agua en estos sustratos presentan un comportamiento sigmoide que corresponde a una función logística.

6.2 Expresión matemática

Las curvas de humedad de los sustratos se comportan de forma similar y basándonos en el estudio gráfico que marca una tendencia sigmoïdal en estos, se presentan una expresión matemática que describe este comportamiento:

$$\frac{dp}{dt} = KP(P_o - P)$$

Este modelo explica el comportamiento de las curvas en las cuales:

K: es la constante innata del sustrato

P: es el peso inicial

(P_o-P): es la pendiente con la que se presenta la curva

El modelo matemático propuesto es con el fin de determinar los valores de X y Y necesarios para la regresión lineal por lo que la expresión de la constante no se determinara en este estudio. Se necesita simplificar la función logística para despejar X y Y de la expresión matemática Y a continuación se describe el proceso seguido:

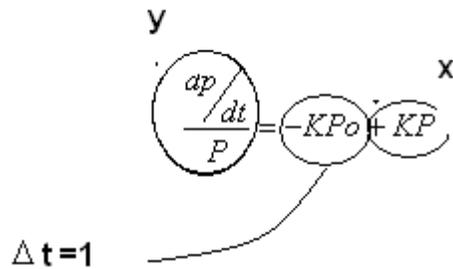
Al despejar esta función obtenemos

$$\frac{dp}{dt} = KP(P_0 - P)$$

$$\frac{dp/dt}{P} = K(P_0 - P)$$

$$\frac{dp/dt}{P} = -KP_0 + KP$$

En esta derivación **tenemos que:**



La formula de la derivación del lado derecho la tomaremos como Y simplificando esto y relacionándolo con los resultados obtenemos:

$$\frac{P_{i+1} - P_i / (t+1) - t}{P_i + \left(\frac{P_{i+1} - P_i}{2}\right)}$$

Y Como **X** tendremos:

$$P_i + \left(\frac{P_{i+1} - P_i}{2}\right)$$

Donde:

P_i : el peso actual

P_{i+1} : el peso siguiente

t: tiempo actual

t +1: el tiempo siguiente

Para determinar la correlación que existe entre las variables de la curvas los valores serán sometidos a un análisis de regresión y para ello se requieren los valores de **X** y **Y** los cuales serán determinados bajo las siguientes formulas; para

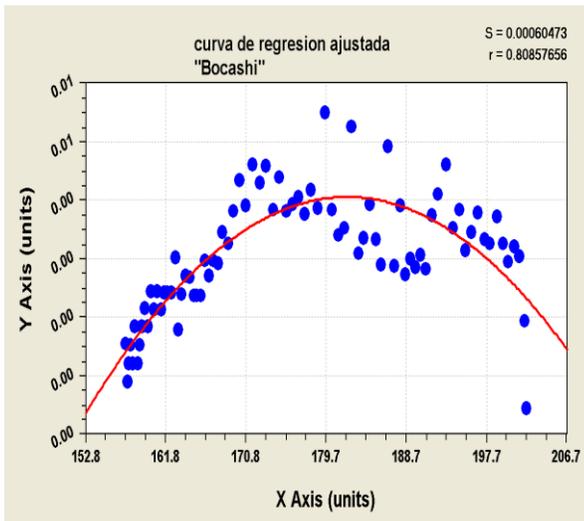
los valores de **Y** se aplicara la formula: $\frac{P_{i+1} - P_i}{(t+1) - t}$ mientras que para $P_i + \left(\frac{P_{i+1} - P_i}{2}\right)$

determinar los valores de x se tendrá que obtener la derivada prima relativa y esta será el cociente de la división entre el lado **X** y el lado **Y** de la ecuación entonces tenemos la siguiente fórmula:

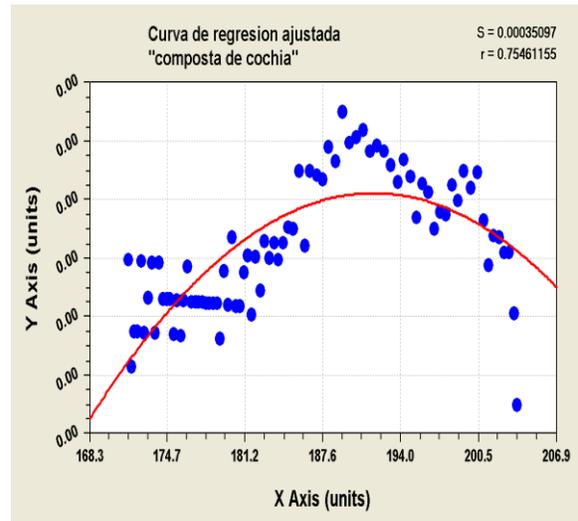
$$\frac{\frac{P_{i+1} - P_i}{(t+1) - t}}{P_i + \left(\frac{P_{i+1} - P_i}{2}\right)} \bigg/ \frac{P_{i+1} - P_i}{2}$$

6.3 Regresión lineal

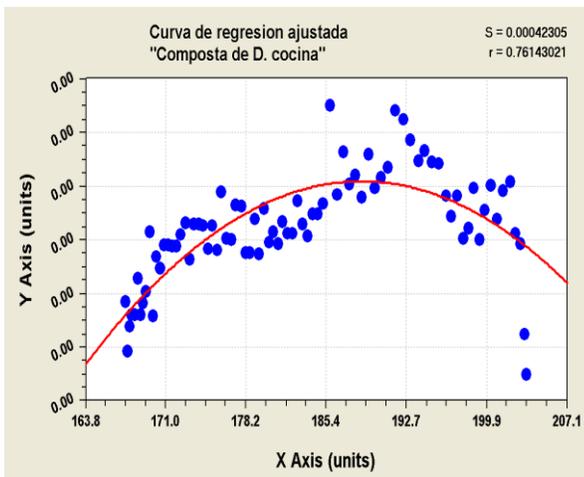
La regresión lineal nos presenta las siguientes graficas en las cuales podemos observar que el comportamiento de las curvas por la pendiente del pronóstico presenta una similitud en todos los casos. Dicha similitud se basa en la forma de la curva la cual corresponde a una parábola invertida.



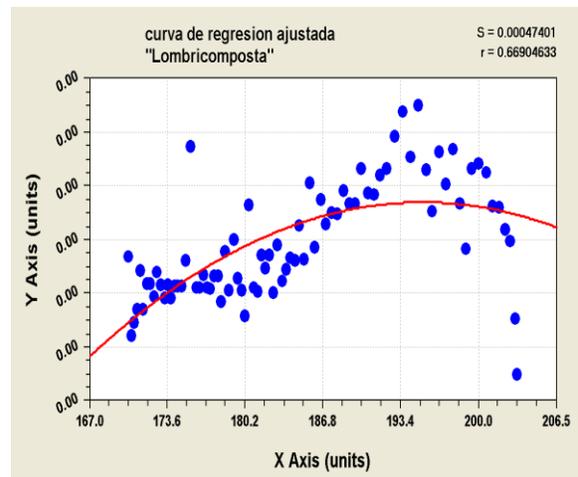
Grafica 8. Curva de regresión Ajustada Bocashi



Grafica 9. Curva de regresión Ajustada Composta de Cochia



Grafica 10. Curva de regresión Ajustada Composta de D. Cocina



Grafica 11. Curva de regresión Ajustada Lombricomposta

La correlación que existe entre las curvas esta dado por la r de pearson que se encuentra en la parte superior derecha de cada grafica y los valores $r=0.81$ bocashi; $r=0.75$ composta de cochia; $r=0.76$ composta de D. cocina $r=0.67$ describen un grado correlación muy alto entre las variables.

Considerando que la parábola es en función de la perdida de agua por la aceleración esta se asemeja con las graficas de las pendientes de la curva por lo que la correlación está altamente relacionada con el modelo propuesto validando así que las curvas de secado se comportan de forma sigmoide.

6.4 DISCUSION

En el análisis grafico se define el comportamiento de las curvas de secado de los sustratos como una función logística; marcando una pérdida de agua inicial muy baja (figura 7). Mas sin embargo, el agua bajo las condiciones en las que evaluaron los sustratos presenta un comportamiento de perdida lineal (grafica ¿?) cabe destacar que aunque se presente una perdida lineal, los valores iniciales de perdida se encuentran por debajo del rango medio, mientras que para la pérdida acumulada, así como para la perdida de agua por unidad de tiempo se considera como lineal que se confirman con los resultados de la regresión lineal, dando una r de 0.999 lo que establece una correlación casi perfecta.

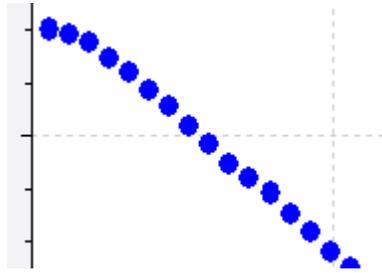


Figura 7 Fracción inicial de la perdida de agua de los sustratos

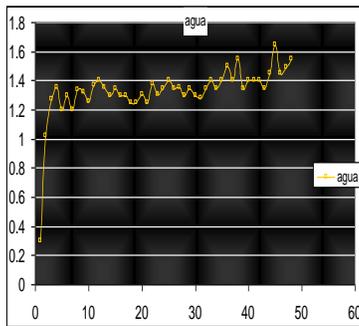


Figura 8.B) perdida de agua acumulada del testigo

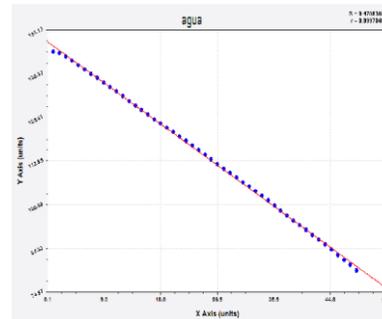


Figura 9.C)regresión lineal del testigo

Lo anterior se explica gracias a la propiedad físico-química del agua que tiene una elevada capacidad calorífica específica (La capacidad calorífica del agua es muy alta lo que se debe a sus enlaces por puente de hidrógeno), que es la cantidad de energía necesaria para aumentar 1 °C un ml de agua (<http://iquimica.blogspot.com>), entonces se necesita mucha energía para calentarse y necesita perder mucha energía para enfriarse es por ello que al inicio de la grafica se tiene que la pérdida es mínima.

Pero una vez ganando calor la pérdida de agua se acelera a medida que adquiere mayor calor y este rompe los puentes de hidrogeno y la molécula de agua comienza a evaporarse más fácilmente tal como se muestra en la Figura 11.

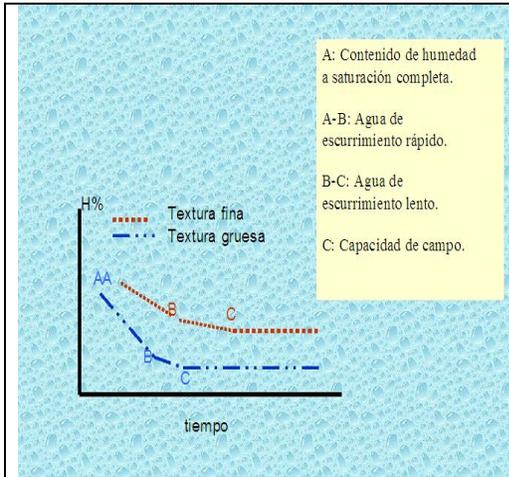


Figura 10 Pérdida de agua en el suelo

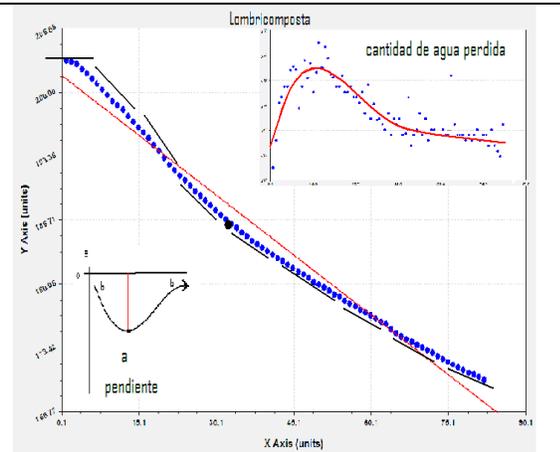


Figura 11 Pérdida de agua en los tratamientos

El agua a saturación en el suelo se pierde por escurrimiento a una velocidad rápida en la primera fracción de A-B, y de B-C el escurrimiento es más lento, después del punto C (capacidad de campo) la pérdida se reduce y se mantiene (grafica anterior) (<http://edafologia.fcien.edu.uy/>). Bajo las condiciones a las que se sometieron los tratamiento el factor del escurrimiento que presenta el suelo se elimina, y queda como factor a considerar la acumulación de calor; una vez que el agua acumula suficiente calor se presenta la evaporación y la pérdida de agua por unidad de tiempo aumenta hasta llegar al punto de inflexión, después de este punto la pérdida de agua disminuye, la falta de escurrimiento modifica el comportamiento natural del flujo de agua hacia capas de suelo más profundas tal como ocurre en campo, por lo que la falta de esta condición hace

que se modifique la retención de la humedad de los sustratos y por consiguiente sus curvas de secado. ; considerando que el agua en el suelo a partir de la capacidad de campo se pierde más lentamente por efecto de la capilaridad (se encuentra retenida en los microporos del suelo), se considera que para el caso de los sustratos este fenómeno sucede después de alcanzar el punto de inflexión por lo que se considera que el punto de inflexión en la curva de los sustratos representa la capacidad de campo en estos por lo antes mencionado.

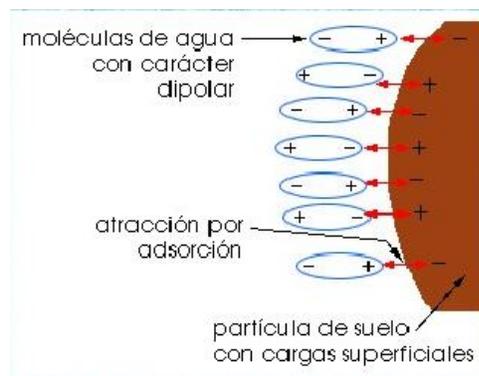


Figura 12. Comportamiento de moléculas de aguas y arcillas

El agua contenida a capacidad de campo se va perdiendo y los capilares se van vaciando; y debido al carácter bipolar del agua su carga es atraída por las cargas negativas del coloide, por lo cual se forma una nueva capa superficial negativa que orienta y retiene a otra capa de agua llegando a formar hasta 3 o cuatro capas en la cubierta del coloide (<http://edafologia.fcien.edu.uy>).

El origen de las fuerzas que mantienen estas moléculas unidas son de tipo electroestático: atracción entre cargas positivas y cargas negativas. Cargas que pueden ser permanentes o transitorias.

Cuando se establece una atracción entre dos partículas la energía del sistema disminuye de forma que se mantienen juntas. Para separarlas hay que gastar una energía que es mayor cuanto mayor es la fuerza de atracción entre las partículas (<http://edafologia.fcien.edu.uy>). Esta energía depende de la carga y la distancia que separa las partículas. Lo que explica que las capas más lejanas al coloide se perderán más rápido que las que se encuentran más cercanas.

A medida que el suelo pierde más agua más difícil será extraer la restante lo que explica el comportamiento de la grafica con tendencia a cero. Según el potencial de Lennard Jones esta interacción se describe con el modelo matemático:

$$V(r) = 4\epsilon \left[\left(\frac{\sigma}{r} \right)^{12} - \left(\frac{\sigma}{r} \right)^6 \right]$$

A nivel molecular

donde ϵ es la profundidad del potencial, σ es la distancia (finita) en la que el potencial entre partículas es cero y r es la distancia entre partículas. El término $\left(\frac{1}{r} \right)^{12}$ describe la **repulsión** y el término $\left(\frac{1}{r} \right)^6$ describe la **atracción** (<http://es.wikipedia.org>).

La fórmula que describe el comportamiento se define como una modificación a la expresión matemática que describe a las graficas logarítmicas. Dentro de la formula, las características de los sustrato se engloban como un conjunto y no se especifican como variantes independientes, por la complejidad que conlleva la formulación de la expresión se plantea como una expresión simple y no compleja.

La correlación según el valor de r puede considerarse según su rango en:

- 1) Perfecta $R = 1$
- 2) Excelente $R = 0.9 \leq R < 1$
- 3) Buena $R = 0.8 \leq R < 0.9$
- 4) Regular $R = 0.5 \leq R < 0.8$
- 5) Mala $R < 0.5$

Bajo este parámetro se considera que los valores de r obtenidos de los tratamientos de esta investigación se consideran como regulares estadísticamente, pero, gráficamente si son significativos esto debido a que se marca una tendencia y con ello puede estimar o predecir un punto.

VII. CONCLUSIONES

Los sustratos bajo condiciones de secado se comportan de forma diferente, esto considerando las pérdidas de agua por unidad de tiempo, pero sus graficas presentan la misma tendencia por lo que corresponde al mismo tipo de curva en los presentes casos.

La regresión lineal describe una correlación regular y por lo tanto se sostiene que la perdida de agua de los sustratos orgánicos estudiados en la presente investigación se presenta de forma sigmoide y esto hace que la retención de agua sea mejor.

Al aumentar la retención de agua, la aplicación de estos sustratos a los ciclos de los cultivos disminuirá la frecuencia de los riegos por lo que se convierte en una buena opción para optimizar el uso del agua en la agricultura.

Los abonos orgánicos siguen y seguirán desempeñando un papel importante en la productividad de los suelos, porque el componente orgánico de este recurso es vital para mantener el suelo biológicamente activo y porque esta actividad repercute en la fertilidad del suelo y en el buen rendimiento de la cosecha.

VIII. LITERATURA CITADA

Baldobinos, de la P. G. 1957. El desarrollo fisiológico y el rendimiento de cosechas. Editorial Universidad Autónoma Chapingo. México. 552pp.

Baver, L. B., Gardner W. H. y Gardner W. R. 1980. Física de suelos. Cuarta edición. Editorial hispano-americana S.A. de C.V. México.

Black, C. A. 1975. Relaciones Suelo-planta: tomo 1 . Editorial hemisferio sur

Bonilla, C. M. y J. Cancino.2001. Estimación del contenido de humedad del suelo mediante el empleo de funciones de Pedotransferencia. Revista "agricultura técnica" v.61 n.3.

Buckman, O.H. y Brady, N.C. 1977. Naturaleza y propiedades de los suelos. Editorial Montaner y Simón S.A. Barcelona, España. 589 pp.

Burés, S. 1997. Sustratos. Ediciones Agrotecnias, T. L. Madrid. España. 431 pp.

Canales, R.R. 2008. Comunicación personal. Departamento de agrofísica. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, saltillo, Coahuila, México.

Coras, M. P. 2003. Propiedades físicas del suelo. Editorial Universidad autónoma Chapingo. México, 219 pp.

Gardman, H. W. 1988. Manual de fertilizantes. Editorial limusa. Octava reimpresión. México. 289 pp.

Gines, M. D. J. 1985. Usted, la tierra, los abonos y los frutos. Editorial diana.
México.174 pp.

Graetz, H. A. 1988. Suelos y fertilización, Manuales para educación agropecuaria.
Séptima reimpresión. Editorial trillas. México. 80 pp.

Gros, A. 1981. Abonos, 7^o edición. Ediciones mundi presa. Madrid, España.

<http://edafologia.fcien.edu.uy/archivos/Agua%20en%20el%20suelo.pdf>

<http://es.wikipedia.org/wiki/Abono>

http://es.wikipedia.org/wiki/An%C3%A1lisis_t%C3%A9cnico

http://es.wikipedia.org/wiki/Potencial_de_Lennard-Jones

<http://iquimica.blogspot.com/2006/04/propiedades-del-agua.html>

<http://ocw.upm.es/ingenieria-agroforestal/hidrologia-de-superficies-y-conservacion-de-suelos/ocw-marta-pdf/Tema6.pdf>

[http://www. Monografías.com /3_12 Regresión .htm](http://www.Monografías.com /3_12 Regresión .htm)

http://www. Monografías.com /3_12_4 Regresión lineal.htm

Http://www. Monografías.com /Estadística inferencial_ Regresión y correlación_.htm

<http://www. Monografías.com /Regresión lineal.htm>

<http://www.elcolibri.com.mx/contenidos/index.php?mod=cont&id=7>

http://www.infoagro.com/industria_auxiliar/tipo_sustratos.htm

http://www.infoagro.com/industria_auxiliar/tipo_sustratos.htm

<http://www.ison21.es/2009/03/05/%C2%BFque-es-el-bokashi/>

<http://www.jardineria.pro/21-01-2008/vari0s/abonado/diferencia-entre-sustrato-suelo-abono-fertilizante-y-enmienda>

<http://www.mitecnologico.com/Main/RegresionLinealSimpleYCurvilinea>

http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0365-28072001000300008&script=sci_arttext

<http://yuyugreen.obolog.com/tip0s-composta-544422>

Jiménez, G. J. 1992. Fertilizantes de liberación lenta. Ediciones Mundi prensa. Madrid, España. 146 pp.

Labrador, M. J. 2001. La materia orgánica en los agroecosistemas. Segunda Edición. Ediciones mundi-prensa. México.223 pp.

Narro, F. E. 1994. Física de suelos con enfoque agrícola. Editorial Trillas. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México.

Rodríguez, F. 2005. Fertilizantes nutrición vegetal. Editor Suppo AGT S.A. Cuarta reimpresión. México.157 pp.

Trinidad, S. A. 1987. Agro tecnología moderna fertilizantes “el uso de los abonos orgánicos en la producción agrícola”. Editorial centro de investigación agraria. México 142 pp.

Winter, E.J. 1977. El agua el suelo y la planta. Primera edición. Editorial diana. México D.F. 222 pp.