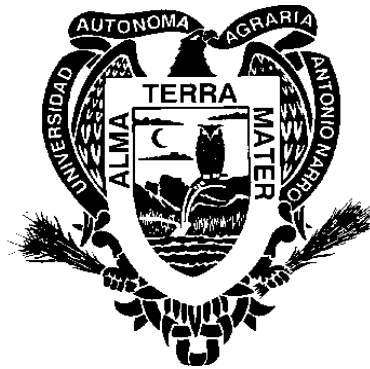


**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO**

DIVISIÓN DE INGENIERIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DEL SUELO



**Temperatura, pH y Conductividad Eléctrica en el Compostaje de
Cuatro Estiércoles**

Por:

JOSÉ ALEJANDRO BARRIOS SÁNCHEZ

TESIS

Presentada como Requisito Parcial para Obtener el Título de:

INGENIERO AGRÍCOLA Y AMBIENTAL

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, Mayo de 2005.

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DEL SUELO

**TEMPERATURA, pH Y CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA EN EL
COMPOSTAJE DE CUATRO ESTIÉRCOLES**

POR:

JOSÉ ALEJANDRO BARRIOS SÁNCHEZ

TESIS

**QUE SE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR,
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TITULO DE:**

INGENIERO AGRÍCOLA Y AMBIENTAL

APROBADA

**DR. ALEJANDRO HERNÁNDEZ HERRERA
PRESIDENTE**

**DR. RUBEN LOPEZ CERVANTES
SINODAL**

**MC. ARMANDO RODRÍGUEZ GARCIA
SINODAL**

**MC. LUIS EDMUNDO RAMÍREZ RAMOS
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE INGENIERIA**

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO MAYO DE 2005

DEDICATORIA

Quisiera dedicar este trabajo a muchas personas, de las cuales siempre he recibido, cariño, comprensión, amistad y apoyo incondicional en los momentos que más lo he necesitado y los primeros nombres que me vienen a la mente son el de mis padres:

Sr. José Luis Barrios Arizpe
Sra. Gabina Sánchez Flores

Les agradezco por el gran amor y cariño que he recibido de ustedes, por haberme inculcado el respeto hacia los demás, saber valorar a las personas no por lo que tienen, si no por lo que son, y por darme el aliento y ser el motivo para seguir adelante y aprender que la vida nunca pone obstáculos, sino pruebas y tener siempre en mente que lo más valioso que puede tener una persona es el apoyo de su familia y que esta siempre debe estar unida, “que Dios los bendiga y me los conserve por muchos años”.

A MIS HERMANOS:

Ing. Víctor Manuel Barrios Sánchez
Maria de los Ángeles Barrios Sánchez.

Con los cuales he compartido los momentos mas felices de mi vida, por que siempre me han brindado su apoyo, respeto y amistad, espero que nuestra hermandad y unión siga existiendo hasta el ultimo día de nuestras vidas. A ti Ángeles por tus ocurrencias y por siempre alegrarme la vida, espero que siempre conserves tu forma de ser. A ti Manuel por haberme y seguirme dando tu apoyo, comprensión y respeto, también por tus llamados de atención que siempre fueron para bien, durante el tiempo que permanecimos juntos en esta

escuela, ya que tu fuiste mi pilar más importante en los primeros días de haber llegado esta institución, por que sin ti no hubiera sabido que hacer. Por siempre ser un ejemplo a seguir, espero que nunca pierdas esa sed de triunfo y éxito que te ha caracterizado y no dejarte de nada y de nadie, eres el mejor amigo que he tenido y espero seguir teniendo, y no te digo que si siempre contaras con mi apoyo, por que ya sabes la respuesta, tan solo te puedo decir “GRACIAS”.

A mis abuelos:

Manuela Velona (†)

María Santos Flores Alcantara

Juan Barrios Galindo (†)

Leonardo Sánchez Neri (†)

Por haberme dado la dicha de conocer el cariño de un abuelo y los mimos que siempre recibí de ustedes y aunque algunos ya no están presentes, siempre los recordare.

A mis tíos:

Bonifacio, Gilda, Alberta, Gaudencio, Feiliciano.

Por brindarme su apoyo moral y económico, cariño, consejos, amistad y por considerarme siempre un miembro más de su familia.

A mis compañeros de generación:

A los c.c.i (casi casi ingenieros) Roberto Arteaga Alonso (vaca), José Márquez Cortes (mil apodos), Gaspar López Márquez (frijolito), Mario Hernández Hernández (comal), Elías Santiago López (Juan dieguito), Franco Isidro Jerónimo (nene consentido) y el Ing. Eduardo Vargas Flores (boiler). A mis compañeros de los cuartos 2 y 7, del dormitorio “El paraíso”.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por haberme dado el privilegio de vivir y haberme dado este destino el cual hasta el momento siempre me sonreído favorablemente, aunque en los últimos años me alejado de él.

A la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” por haberme dado la oportunidad y el privilegio de estudiar una carrera universitaria, haberme formado en sus aulas, biblioteca y sus demás instalaciones. A la cual nunca defraudare y siempre tratare de poner su nombre en alto.

Al personal académico de los cuales siempre aprendí algo y fueron la parte más importante de mi formación personal.

Dr. Alejandro Hernández Herrera

Por brindarme el apoyo y sugerencias para culminación de este trabajo.

MC. Armando Rodríguez García

Por la gran ayuda recibida en la elaboración este trabajo, por brindarme parte de su tiempo, por su gran accesibilidad y atención en cualquier momento.

Dr. Rubén López Cervantes

Por sus aportaciones y sugerencias para que este trabajo pudiera llegar a terminarse bien.

A todas aquellas personas que aportaron un poco en este trabajo y que al momento de redactar este escrito no los recordé.

INDICE GENERAL

	Página
INDICE DE CUADROS	VIII
INDICE DE FIGURAS	XI
INTRODUCCION	1
Objetivos	3
Hipótesis	3
REVISIÓN BIBLIOGRAFICA	4
Temperatura	4
pH	4
Contenido de sales y la relación suelo-solución	5
Conductividad eléctrica	9
Consideraciones generales del estiércol	10
Características químicas de los estiércoles	13
Compostaje de estiércol	15
Proceso de compostaje	18
Sustrato	20
Temperatura	21
pH	24
Aireación	25
Humedad	26
Relación carbono-nitrógeno (C:N)	27
Microorganismos	31
Efectos del pH en los microorganismos	32
Modificación del pH por los microorganismos	32
Sistema de compostaje	34

Algunos métodos para evaluar la madurez o estabilidad de una composta	34
Factores de observación simple	35
Olor	35
Temperatura estable	35
Color	35
Peso específico	35
Métodos de análisis químicos	35
Determinación de pH	35
Relación C:N	35
Relación ácidos húmicos/ácidos fúlvicos (AH/AF)	36
Relación NH_4^+ -N/ NO_3^- -N en extractos acuosos	36
Determinación de NH_4^+ y SH_2	36
Determinación de la capacidad de intercambio catiónico	36
Temperatura, pH y conductividad eléctrica durante el compostaje	37
MATERIALES Y METODOS	43
Ubicación del trabajo	43
Metodología	44
Factores evaluados	44
Temperatura	44
pH	44
Conductividad eléctrica	45
Métodos de análisis	46
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	47
CONCLUSIONES	79
BIBLIOGRAFÍA	80

INDICE DE CUADROS

		Página
Cuadro 1.	Relación existente entre el pH y la concentración de algunos iones en solución acuosa	7
Cuadro 2.	Interpretación de la concentración de sales solubles de compostas utilizadas como medio de crecimiento en invernaderos	10
Cuadro 3.	Composición media de diferentes estiércoles.....	12
Cuadro 4.	Medición empírica de pH en estiércoles.....	14
Cuadro 5.	Condiciones ambientales, fuente de alimento y subproductos generados por los microorganismos aeróbicos del estiércol de bovino.....	16
Cuadro 6.	Evolución biológica durante la fermentación aeróbica de desperdicios orgánicos.....	23
Cuadro 7.	Relaciones C:N (contenido de nitrógeno) y su efecto sobre la fertilidad	28
Cuadro 8.	Temperaturas que puede alcanzar una pila de compostaje dependiendo de su relación C:N.....	29
Cuadro 9.	Tiempo de compostaje afectada por la relación C:N.....	29
Cuadro 10.	Relación C:N de diferentes materiales orgánicos.....	30
Cuadro 11.	Algunos de los microorganismos que participan en el proceso de compostaje, en sus diferentes fases.....	31
Cuadro 12.	Humedad y pH durante el compostaje de tres materiales orgánicos.....	41
Cuadro 13.	Humedad, conductividad eléctrica (CE) y pH durante el compostaje, de residuos de podas de jardín mezclados con estiércol de conejo.....	41
Cuadro 14.	Temperatura (T), pH, conductividad eléctrica (CE), de tres materiales orgánicos durante el compostado, a los 70, 100 y 130 días.....	42

Cuadro 15.	Conductividad eléctrica y pH del agua de diferentes partes del establo lechero de la U.A.A.A.N	46
Cuadros 16. (a, b, c, d)	Resultados de las lecturas de temperatura (°C) durante el compostaje de los cuatro estiércoles utilizados.....	47
(e, f, g, h)	Resultados de los análisis de pH y conductividad eléctrica (dSm^{-1}) durante el compostaje de los cuatro estiércoles utilizados.....	48
Cuadro 17.	Datos de temperatura (°C), pH y CE (dSm^{-1}) de cada profundidad de muestreo durante el compostaje del estiércol de bovino de carne.....	51
Cuadro 18.	Resultado de las correlaciones entre los datos de temperatura, pH y CE de cada profundidad de muestreo en el estiércol de bovino de carne.....	51
Cuadro 19.	Datos de temperatura (°C), pH, y CE (dSm^{-1}) de cada profundidad de muestreo durante el compostaje del estiércol de bovino lechero.....	55
Cuadro 20.	Resultados de las correlaciones entre los datos de temperatura, pH y CE de cada profundidad de muestreo en el estiércol de bovino lechero.....	55
Cuadro 21.	Datos de temperatura (°C), pH y CE (dSm^{-1}) de cada profundidad de muestreo durante el compostaje del estiércol de borrega.....	57
Cuadro 22.	Resultados de las correlaciones entre los datos de temperatura, pH y CE de cada profundidad de muestreo en el estiércol de borrega.....	57
Cuadro 23.	Resultados de pH y temperatura (°C) obtenidos mediante la ecuación de regresión obtenida de los datos de la muestra 1 extraída a 15 cm de profundidad..	59
Cuadro 24.	Análisis de varianza de la regresión lineal entre los datos de temperatura y pH, obtenidos a una profundidad de 15 cm en el extremo oriente de la pila del estiércol de borrega.....	61

Cuadro 25.	Resultados de pH y CE (dSm^{-1}) obtenidos mediante la ecuación de regresión de los datos de la muestra 1 extraída a 30 cm de profundidad.....	62
Cuadro 26.	Análisis de varianza de la regresión lineal entre los datos de pH y CE obtenidos a 15 de profundidad en el extremo oriente de la pila del estiércol de borrega.....	64
Cuadro 27.	Datos de temperatura ($^{\circ}\text{C}$), pH y CE (dSm^{-1}) de cada profundidad de muestreo durante el compostaje del estiércol de cabra.....	66
Cuadro 28.	Resultados de las correlaciones entre los datos temperatura, pH y CE de cada profundidad de muestreo en el estiércol de cabra.....	66
Cuadro 29.	Resultados de pH y temperatura ($^{\circ}\text{C}$) obtenidos mediante la ecuación de regresión de los datos de la muestra 1 extraída a 15 cm de profundidad.....	68
Cuadro 30.	Análisis de varianza de la regresión lineal entre los datos de temperatura y pH obtenidos a 15 cm de profundidad en el extremo oriente de la pila del estiércol de cabra.....	69
Cuadro 31.	Resultados de pH y CE (dSm^{-1}) obtenidos mediante la ecuación de regresión de los datos de la muestra 1 extraída a 30 cm de profundidad.....	70
Cuadro 32.	Análisis de varianza de la regresión de los datos de pH y CE obtenidos a 15 cm de profundidad en el extremo oriente de la pila del estiércol de cabra	71
Cuadro 33.	Resultados de pH y temperatura ($^{\circ}\text{C}$) obtenidos mediante la ecuación de regresión de los datos de la muestra 1 extraída a 30 cm de profundidad.....	73
Cuadro 34.	Análisis de varianza de la regresión de los datos de pH y temperatura obtenidos a 30 cm de profundidad en el extremo poniente de la pila de estiércol de cabra.....	74

ÍNDICE DE FIGURAS

		Pagina
Figura 1.	Contenido de sólidos en diferentes estiércoles, tipo de manejo y su relación con la actividad biológica....	17
Figura 2.	Dinámica de cuatro fracciones químicas durante el proceso de compostaje.....	19
Figura 3.	El proceso de compostaje.....	20
Figura 4.	Temperaturas en diferentes secciones de una pila de compostaje.....	22
Figura 5.	Variación de la temperatura durante el proceso de compostaje.....	24
Figura 6.	Comportamiento de temperatura y pH durante el proceso de compostaje.....	38
Figura 7.	Cambios de la Conductividad eléctrica (CE) durante el compostaje de tres tipos de materiales orgánicos.....	40
Figura 8.	Comportamiento de la temperatura y pH a 15 cm de profundidad en el extremo oriente de la pila del estiércol de bovino de carne.....	52
Figura 9.	Comportamiento de temperatura y pH a 45 cm de profundidad en el centro de la pila del estiércol de bovino de carne.....	52
Figura 10.	Comportamiento de pH y CE a 45 cm de profundidad en el centro de la pila del estiércol de bovino de carne.....	53
Figura 11.	Comportamiento de pH y CE a 30 cm de profundidad en el extremo oriente de la pila del estiércol de bovino de carne.....	54
Figura 12.	Comportamiento de temperatura y pH a 45 cm de profundidad en el centro de la pila del estiércol de bovino lechero.....	56

Figura 13.	Comportamiento de temperatura y pH a 15 cm de profundidad en el extremo oriente de la pila del estiércol de borrega.....	58
Figura 14.	Regresión lineal entre los datos de pH y temperatura tomados a 15 cm de profundidad en el extremo oriente de la pila del estiércol de borrega....	60
Figura 15.	Regresión lineal entre los datos de CE y pH tomados a 15 cm de profundidad en el extremo oriente de la pila del estiércol de borrega.....	63
Figura 16.	Comportamiento de pH y CE a 15 cm de profundidad en el extremo oriente de la pila del estiércol de borrega.....	63
Figura 17.	Comportamiento de pH y temperatura a 45 cm de profundidad en el centro de la pila del estiércol de borrega.....	65
Figura 18.	Comportamiento de pH y temperatura a 15 cm de profundidad en el extremo oriente de la pila del estiércol de cabra.....	67
Figura 19.	Regresión lineal entre los datos de pH y temperatura tomados a 15 cm de profundidad en el extremo oriente de la pila de estiércol de cabra.....	68
Figura 20.	Regresión lineal entre los datos de CE y pH tomados a 15 cm de profundidad en el extremo oriente de la pila del estiércol de borrega.....	70
Figura 21.	Comportamiento de pH y CE a 15 cm de profundidad en el extremo oriente de la pila del estiércol de cabra.....	71
Figura 22.	Comportamiento de pH y temperatura a 30 cm de profundidad en el extremo poniente de la pila del estiércol de cabra.....	72
Figura 23.	Regresión lineal entre los datos de pH y temperatura tomados a 30 cm de profundidad en el extremo poniente de la pila del estiércol de cabra.....	73
Figura 24.	Comportamiento de pH y temperatura a 45 cm de profundidad en el centro de la pila del estiércol de cabra.....	75

INTRODUCCIÓN

Los estiércoles son una fuente importante de nutrientes vegetales, además con un buen manejo se mejora su aprovechamiento y contribuyen a incrementar el rendimiento y calidad de los productos agrícolas, así como a disminuir la contaminación ambiental. Es conveniente considerar que la incorporación de residuos orgánicos frescos al suelo causa daños a las plantas, debido a que al inicio del proceso de descomposición se liberan fitotóxicas, aumenta la temperatura, disminuye la concentración de oxígeno y la biodisponibilidad del nitrógeno (Senesy, 1989; Eghball *et al.*, 1997).

Tan solo en la Comarca Lagunera se producen aproximadamente 820 mil toneladas de estiércol de bovino anualmente (González, 2001), lo cual permite plantear la posibilidad de su utilización en la agricultura. El método de tratamiento de estiércol de bovino más usado en México es su secado al aire libre, para lo cual es depositado en un terreno cercano al establo sin recibir ningún manejo para su composteo (Castellanos, 1984; Young *et al.*, 1985); requiriéndose de 8 a 12 meses o más, para que el estiércol se estabilice mediante un proceso mixto aerobio - anaerobio. Este manejo es la principal razón por la que el estiércol de bovino causa graves problemas de contaminación ambiental, genera gran proliferación de moscas, produce malos olores, una gran dispersión y suspensión de partículas finas en el aire. Además el nitrógeno se volatiliza en forma de amoníaco y se lixivia como nitrato a capas profundas del suelo; el potasio también es lixiviado (Young *et al.*, 1985).

El compostaje es un método o forma de manejar el estiércol que consiste en la degradación bioquímica de materiales orgánicos, un proceso sanitario para tratar desechos sólidos orgánicos de origen doméstico, comercial, agrícola e industrial que por lo general son arrojados a fuentes hídricas y provocan una gran contaminación que conlleva a la destrucción de los ecosistemas. Este método permite reciclar desechos sin afectar la calidad de los suelos, recursos

hídricos y ecosistemas, obteniéndose beneficios ecológicos, económicos y sociales (Jürgen, C., *et. al* 1993).

Muchos residuos orgánicos considerados como basura se utilizan para obtener productos con valor agregado, mediante el compostaje. Éste es un proceso biooxidativo de transformaciones microbianas en condiciones controladas. (Hoitik y Kuter, 1986). En el proceso se desarrollan eventos físicos, químicos y biológicos que provocan cambios en el material orgánico inicial en cierto periodo de tiempo. Diversos investigadores han analizado el contenido nutrimental (Haimi y Hutha, 1987) y microbiológico (Corlay *et al.*, 1999) de materiales que han sido sometidos a composteo. En la calidad final de la composta intervienen factores como: tipo de sustrato (residuos orgánicos) y los que manipula el hombre (aireación, humedad, pH, temperatura).

El compostaje es un proceso exotérmico, que eleva la temperatura de la masas, y elimina agentes patógenos y la viabilidad de las semillas de malezas. La estabilización de la materia orgánica se consigue por la oxidación de moléculas complejas que se transforman en otras más sencillas y estables. La fermentación de la materia orgánica integra, la degradación o descomposición y el reajuste o síntesis de nuevos productos. (Romero, J. 1996). Por tal motivo, es importante encontrar formas para mejorar el manejo y aprovechamiento agrícola de los estiércoles.

Objetivos

- Determinar el comportamiento y relación entre el pH, conductividad eléctrica (CE) y temperatura en el compostaje de cuatro estiércoles.

Hipótesis

Existe interdependencia entre la temperatura, pH y CE en el compostaje de cuatro estiércoles.

REVISIÓN BIBLIOGRAFICA

Temperatura

El calor es la energía que fluye por la diferencia de temperaturas entre dos cuerpos. La unidad básica del calor es la caloría, esta es la energía requerida para incrementar en un gramo de agua un grado °C (Haug,1980). Por su parte González *et al.*, (1985), mencionan que la temperatura es el producto de la energía térmica (luz solar) expresada en °C, °F, °K, y en calorías cuando se trata de energía química almacenada en alimentos.

La temperatura es uno de los factores ambientales más importantes, ya que determina la rapidez con la que los materiales orgánicos son metabolizados, (Alexander, 1980). Cuando se mezcla material orgánico para el compostaje, parte de la energía liberada para la descomposición del material se desprende como calor y esto origina un aumento de la temperatura.(Datzell *et al*, 1991).

En el proceso de compostaje la oxidación del carbono a CO₂ produce energía en forma de calor, esta es retenida por los residuos que se están transformando, por lo tanto estos materiales se calientan alcanzando hasta 75 °C en el interior de la composta. A mayor volumen de residuos en la composta, mayor es la energía liberada, y se provoca un aumento de temperatura mayor. Este punto del proceso es muy importante porque altas temperaturas higienizan el material, por la eliminación de patógenos y la viabilidad de semillas de plantas indeseables (Alcolea *et al.*, 2002)

pH

Ansorena (1994), menciona que en el agua pura, el número de iones de H⁺ y OH⁻ es el mismo, ya que cada molécula de agua proporciona uno de cada

clase y por lo tanto el agua es neutra porque solo contiene 0.1 microgramos de iones H^+ , una concentración de 0.0000001 gramos por litro, que se expresa como 10^{-7} gL^{-1} . Si agregamos un ácido, la concentración de iones H^+ será mayor, si esta aumenta 10 veces, será de 0.000001 o 10^{-6} gL^{-1} y decimos que el agua se ha acidificado. Si añadimos iones OH^- con una base o álcali, disminuirá la concentración de H^+ , si se reduce 100 veces, pasara a ser de 0.00000001 o 10^{-8} gL^{-1} .

Para evitar el manejo de decimales y potencias negativas, se introdujo el concepto de pH, que es una medida de la concentración de iones H^+ de una solución acuosa, su acidez o alcalinidad no se expresa con potencias negativas (10^{-7} , 10^{-6} o 10^{-8}), solamente se dice que la concentración de iones H^+ es de pH = 7 (neutro), 6 (ácido) y 8 (básico). Una solución de pH = 5 tiene 10 veces más iones hidrógeno que una de pH = 6 y 100 veces más que otra de pH = 7 cuanto más ácida es una solución acuosa, menor es un pH y cuanto más básica o alcalina, mayor será el pH.

Este es un parámetro muy importante que caracteriza a un sustrato, ya que de su valor depende la presencia de compuestos de aluminio y manganeso, que son tóxicos para las raíces y limitan el crecimiento de las plantas y la asimilabilidad de nutrimentos minerales, ya que su disponibilidad depende en gran medida del pH.

Contenido de sales y la relación suelo-solución.

Las sales solubles del suelo son: cationes de sodio, calcio, magnesio, potasio y los aniones cloruro y sulfato y otros que se encuentran en menor cantidad como el bicarbonato, carbonatos y nitratos (Tamhane y Motiramani, 1986).

Los iones H^+ y Al^{+3} adsorbidos en el complejo de cambio son intercambiados por las sales presentes en el suelo o en las soluciones de medición. En ambos casos se producen valores de pH menores que en una suspensión de agua pura. Las sales pueden provenir de residuos de fertilización, aguas de riego o descomposición de materia orgánica. El pH disminuye debido a la presencia de sales y se recomienda hacer mediciones en soluciones salinas con una fuerza iónica relativamente elevada que desplazan los iones H^+ y Al^{+3} de intercambio, ya que estos iones enmascaran el efecto de las sales negativas (Aguilar *et al*, 1987).

El pH depende de diferentes características del suelo como: la concentración de bióxido de carbono disuelto, el contenido de humedad a la cual se efectúa la lectura, de la composición de los cationes intercambiables, la naturaleza de los materiales de intercambio catiónico, composición y concentración de las sales solubles, la presencia o ausencia de yeso y carbonatos de metales alcalino-térreos (Richards, 1985)

Fireman y Wadleigh (1951), citados por Richards (1985), realizaron un estudio estadístico sobre la relación que existe entre el porcentaje de sodio intercambiable, contenido de humedad, nivel de salinidad, la presencia o ausencia de carbonatos de metales alcalino-térreos y el pH en suelos de regiones áridas, como se muestra en el cuadro 1. Estos estudios permiten establecer los siguientes conceptos con relación al pH de pastas de suelos saturados:

- pH de 8.5 o mayores, indican casi siempre un por ciento de sodio intercambiable de 15 o mayor y la presencia de carbonatos de metales alcalino-térreos.

- En suelos cuyo pH es menor de 8.5, el por ciento de sodio intercambiable no puede ser mayor de 15.
- Suelos cuyo pH es menor de 7.5 casi nunca contienen carbonatos de metales alcalino-térreos y si el pH es menor de 7.0, el suelo seguramente contendrá cantidades considerables de hidrógeno intercambiable.

Cuadro. 1. Relación existente entre el pH y la concentración de algunos iones en solución acuosa (adaptación según datos tomados de Stumm y Morgan, 1970, citados por Cajuste, 1977).

pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	H ₂ CO ₂ ⁺
7	10 ^{-0.6}	-	10 ^{-7.7}	10 ^{-4.3}	10 ⁻⁵
8	10 ^{-2.6}	-	10 ^{-5.7}	10 ^{-3.3}	10 ⁻⁵
9	10 ^{-4.6}	10 ^{-0.6}	10 ^{-3.7}	10 ^{-2.3}	10 ⁻⁵
10	10 ^{-6.6}	10 ^{-2.6}	10 ^{-1.7}	10 ^{-1.3}	10 ⁻⁵
11	10 ^{-8.6}	10 ^{-4.6}	10 ^{+0.3}	10 ^{-0.3}	10 ⁻⁵

Los iones bicarbonato se forman de la solución de CO₂ en agua. El CO₂ puede ser de origen atmosférico o biológico y el agua que contiene CO₂ es un agente químico intemperizante que libera cantidades apreciables de cationes en forma de bicarbonatos. Los iones carbonato y bicarbonato están relacionados entre sí, y la cantidad que hay de cada uno está en función del pH de la solución. Mayores cantidades de iones carbonato, sólo pueden presentarse para valores de pH de 9.5 o más altos (Tamhane y Motiramani, 1986).

Un aumento en la concentración de sales desplaza a los iones H⁺ intercambiables, es decir (H⁺ enlazado) de los sitios de intercambio hacia la solución externa y por lo tanto el pH aumenta por que se reduce la concentración de iones H⁺. La cantidad real de H⁺ intercambiable, en los suelos

casi siempre es pequeña, pero lo suficientemente grande para afectar el pH (Richards, 1985). Por su parte Cajuste (1977), menciona que cuando una suspensión de suelo se diluye, el pH aumentará por las siguientes razones:

a) Menor número de partículas de suelo, por lo tanto, menor solución interna se pondrá en contacto con esas partículas, a través del electrodo de vidrio.

b) Una concentración más baja de sales producirá una concentración menor de iones H^+ en la solución externa y se tendrán valores de pH elevados.

El pH del suelo depende de factores como: la estación del año, las prácticas de cultivo, el horizonte muestreado, el contenido hídrico en el momento del muestreo, la técnica para determinar el pH, incluyendo los factores que intervienen en la formación del suelo. Casi todos los suelos con pH superior a 8 poseen un exceso de sales o un elevado porcentaje de Na^+ en sus sitios de intercambio catiónico. La degradación de materia orgánica en el suelo forma ácidos orgánicos que aumentan la capacidad de intercambio de cationes, pero que disminuyen el porcentaje de saturación de bases y, por tanto el pH. Suelos que contienen sales de Ca, tienen pH de 7.5. a 8.5. y suelos que tienen exceso de Na^+ tienen un pH de 8 a 10. (Cepeda, 1991).

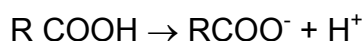
Rodríguez (1982), menciona que un suelo es neutro ($pH = 7$) cuando los iones H^+ han sido intercambiadas equilibradamente por otros cationes, como el Ca^{++} , el Mg^{++} , etc. Un suelo es ácido ($pH < 7$) cuando su solución tiene una mayor cantidad de H^+ , y es básico ($pH > 7$) cuando hay un exceso de sales solubles. También menciona que las principales sales solubles del suelos son: sulfatos de Ca, Mg, K y Na; cloruros de Ca, Mg, K y Na; carbonatos, bicarbonatos y nitratos de Ca, Mg, K y Na.

Este mismo autor indica que un suelo con gran concentración de sales, produce un efecto físico - químico al incrementar el pH de la solución del suelo,

ya que disminuye la actividad de muchos microorganismos y la permeabilidad de las células radicales que se encuentran en contacto con el suelo.

Conductividad Eléctrica

La conductividad eléctrica o conductancia eléctrica específica, es el valor recíproco de la resistencia eléctrica de una columna de líquido, con una sección de 1 cm^2 y longitud de 1 cm^{-1} , se mide en dS/m o mmho/cm, y se expresa de una manera aproximada la concentración de sales ionizadas en solución de un sustrato. La materia orgánica y en especial las sustancias húmicas, contienen grupos carboxílicos, hidro-fénolicos, hidroxienólicos, imidas y otros grupos que atrapan y liberan iones hidrógeno, según la siguiente secuencia:



Dependiendo del pH, los iones orgánicos negativos absorben Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , NH_4^+ y otros cationes. Este fenómeno es importante en los sustratos, porque la mayoría de éstos tienen un componente orgánico importante desde el punto de vista químico, similar al de las arcillas coloidales de los suelos (Burés, 1997). El exceso de sales disueltas en una solución acuosa de un medio de cultivo es uno de los problemas nutricionales más frecuentes en el cultivo de plantas en contenedor. Su efecto es semejante a la deshidratación por falta de agua y se corrige lixiviando las sales aplicando suficiente agua. La salinidad se controla fácilmente midiendo la conductividad eléctrica (Ansorena, 1994).

Watson (2002), menciona que una concentración alta de sales solubles en el medio de crecimiento de una planta es perjudicial para la germinación de semillas y para el crecimiento de las plantas como se muestra en el cuadro 2. El término de sal soluble es utilizado para denominar a compuestos químicos, principalmente nutrientes, estos se solubilizan en agua y forman iones. Las

sales solubles que comúnmente contiene una composta son cloruro de potasio, cloruro de sodio, nitratos, sulfatos, calcio, magnesio y carbonatos de potasio. El materia inicial que se someta a compostaje determina la cantidad y tipo de sal que será predominante, como el caso de los estiércoles animales, ya que las compostas hechas a base de estos materiales tienen altos niveles de sales solubles. Los fluidos animales (orina) incrementan el contenido de sales solubles de las compostas, principalmente las sales de cloruro de potasio y cloruro de sodio.

Cuadro. 2. Interpretación de la concentración de sales solubles de compostas utilizadas como medio de crecimiento en invernaderos

Efecto de sales solubles (Método = relación 1:5 (v/v))*	Interpretación
<u>dSm⁻¹ (mmhos/cm)</u>	
0.0 – 0.12	- Muy bajo, indica muy baja cantidad de nutrientes, las semillas pueden germinar
0.13 – 0.34	- Bajo, rango adecuado para plántulas y plantas sensibles, las plantas pueden presentar deficiencias y crecer lentamente
0.35 – 0.64	- Rango deseable para la mayoría de las plantas, pero un rango superior puede ser demasiado alto para algunas plantas.
0.65 – 0.89	- Alto, deseable para la mayoría de las plantas, pérdida de vigor en un rango superior
0.90 – 1.10	- Reduce el vigor y crecimiento de las plántulas, marchitez y quemadura marginal de hojas
1.10 +	- El crecimiento de las plantas es gravemente raquíptico, las plantas usualmente mueren.

* Un volumen de composta por cinco volúmenes de agua

** La interpretación es diferente para otros métodos

Fuente: Warncke y Krauskopf (1983), citados por Watson (2002).

Consideraciones Generales del Estiércol

Labrador (1996), menciona que el estiércol está formado por las deyecciones sólidas y líquidas de los animales, también por los materiales que sirven de cama para el ganado. La descomposición o fermentación inicia en el

alojamiento del ganado y continua en el estercolero, básicamente está formando por materiales hidrocarbonados, compuestos nitrogenados y una gran población microbiana. Lynch (1977), afirma que el estiércol está compuesto de un buen porcentaje de ácidos, propiónico y butírico que se forman cuando la celulosa se fermenta en el estomago de los animales (en el rumen) los cuales pueden resultar fitotóxicos, por lo que se recomienda someter el estiércol a un proceso de compostaje para eliminar dichos ácidos. Van Suest (1982), citado por Rentería (1985), menciona que el estiércol posee gran variedad de materiales metabólicos como:

1.- Sustancias endógenas compuestas de sales de magnesio, calcio, ácidos grasos, biliares y algunos desechos de células animales, tejido ratinado y moco.

2.- Derivados microbianos formados por paredes celulares de bacterias, grandes cantidades de amoníaco producido por la degradación microbiana, bacterias que contienen nitrógeno soluble e insoluble y una fracción nitrogenada insoluble que es resistente a la degradación enzimática, que indica que el nitrógeno protéico se encuentra en pequeñas cantidades.

Urbano (1999), cita que el estiércol contiene numerosas sustancias hormonales con efecto estimulante sobre la vegetación y la población microbiana del suelo, además la composición, textura y calidad del estiércol depende de numerosos factores como:

Naturaleza de la cama del ganado: el material utilizado como cama debe poseer una gran capacidad para absorber líquidos y ser elástico.

Clase de ganado: la especie y raza animal caracterizan la cantidad y composición de las deyecciones, el ganado bovino produce mayor cantidad de deyecciones líquidas y sólidas que el ganado equino, porcino y ovino. Pero

tiene menor contenido de nutrientes que los antes mencionados, como se muestra en el cuadro 3.

Cuadro. 3. Composición media de diferentes estiércoles.

Composición	Gallinaza	Oveja	Ternero	Vaca	Conejo
Materia seca (%)	22 ó 76 ⁽²⁾	25	23	23	26
pH	6.80	7.82	7.90	8.17	7.47
Conductividad Eléctrica	5.78	2.81	4.72	4.03	2.87
Materia orgánica (%) ⁽¹⁾	64.71	64.08	73.25	66.28	69.38
Nitrógeno (%)	1.74	2.54	2.40	1.84	2.79
P₂O₅ (%)	4.18	1.19	1.50	1.73	4.86
K₂O (%)	3.79	2.83	3.14	3.10	1.88
Relación C/N	20.15	10.53	14.55	13.90	10.92
CaO (%)	8.90	7.76	2.99	3.74	6.62
MgO (%)	2.90	1.51	0.91	1.08	2.10
Na₂O (%)	0.59	0.62	0.78	0.58	0.35
Fe (%)	0.49	0.34	0.23	0.41	0.24
Mn (mg/kg)	506	306	160	172	258

(1) Todos los resultados están expresados sobre materia seca.

(2) Ponedoras en batería y pollos de engorde respectivamente.

Fuente: Serra(1988), Vásquez y Oromí (1989), citados por Labrador (1996).

Edad del ganado: la edad influye en la composición del estiércol, el ganado joven produce deyecciones más acuosas y pobres en calcio y fósforo.

Dieta del ganado: cuando en la dieta abundan forrajes verdes, ensilado y heno, las deyecciones son más ricas en nitrógeno. La alimentación a base de granos produce deyecciones más ricas en fósforo y cuando se utiliza raíces y tubérculos como alimento las deyecciones son más ricas en potasio. Las deyecciones son más ricas en nutrimentos en el ganado estabulado permanentemente y más pobres en estabulación libre y pastoreo.

Características Químicas de los Estiércoles

Las características químicas importantes de los estiércoles son: pH, conductividad eléctrica, nutrientes, metales tóxicos y otras propiedades bioquímicas (Haug, 1980).

Rodríguez (2002), menciona que el grado de acidez y/o alcalinidad (pH) de las deyecciones del ganado bovino de ordeña oscila del 6.7 al 7, las del ganado bovino de engorda tienen un pH de 8.0. Saldivar (1998), al realizar un análisis del estiércol del ganado vacuno obtenido en la Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro", reporta valores de pH de 9.4.

Rosas y Sosa (1979), analizaron muestras de estiércol de ganado lechero y reportan valores de pH de 9 al ser suspendidos en agua y mencionan que la presencia de amoníaco eleva los valores de pH. También indican que las muestras de estiércol son fundamentalmente de naturaleza alcalina y que los valores de pH obtenidos se relacionan con el origen de las muestras, ya que el estiércol no es necesariamente de origen vegetal, sino se trata de un material que ha sido procesado dentro de un animal, con un elevado contenido de componentes microbianos.

La actividad biológica del estiércol es afectada por el pH, se reportan valores de pH de 6.9 para estiércol de aves, 7.0 para estiércoles de vacas lecheras y pH 7.5 para estiércol de cerdo. La adición de desechos de forrajes, camas de ganado y otros materiales pueden modificar los valores de pH, este también es afectado por el desbalance entre ácidos volátiles y amoníaco, ya que éstos se forman durante la descomposición microbiana del estiércol. El pH del estiércol puede disminuir o elevarse dependiendo de su manejo (Leggett, 2002). El pH del estiércol se puede medir empíricamente tomando en cuenta su estado de descomposición y aspectos físicos de observación simple como color, textura y olor, como se muestra en el cuadro 4.

Cuadro. 4. Medición empírica de pH en estiércoles.

Estiércol	Color	Textura	Olor	pH
Fresco	Verde	Pastoso	Picante	8.5 – 10
Maduro	Pardo	Fibroso	Soportable	7.5 – 8.5
Viejo	Negro	Terroso	No tiene	≤ 7

Fuente: Reines *et al* (1998).

La conductividad eléctrica (CE) es una estimación de la concentración de sales solubles inorgánicas en los desechos líquidos de animales. Las sales más importantes que contribuyen a valores altos de CE son: sodio, potasio, magnesio, etc. La CE de los desechos líquidos están aproximadamente en un rango de 1 a 7 mmho / cm. En áreas de lluvia deficiente y alta evaporación la CE determina la cantidad de desechos líquidos que son aplicados en los terrenos, para evitar acumulación de sales y problemas de salinidad (Haug, 1980).

Las sales son constituyentes químicos del estiércol, estas son diversos cationes y aniones como: sodio, calcio, magnesio, potasio, amonio, cloruros, sulfatos. El contenido de sales en el estiércol varía por el tipo de alimento, ya que muchos animales reciben dietas complementadas con sales. Por ejemplo Sutton *et al* (1994), reportan una concentración elevada de sodio en el estiércol, afectada por raciones desbalanceadas de NaCl en la dieta.

Sharpley *et al* (1998), comentan que el estiércol contiene grandes cantidades de sales solubles como potasio, sodio y cloruros. La CE es el promedio total de la concentración de sales solubles del estiércol. El potasio es la sal soluble dominante en los estiércoles, el estiércol de ganado lechero contiene 31.6 gKg⁻¹ (base seca), seguido por el de ovejas (30.5), cerdos (26.2), ganado de engorda y pollinaza (20.8), pavos y gallinaza (19.4).

Stweeten y Mathers (1985), indican que existe una relación entre la concentración de sales en el estiércol y el de las raciones alimenticias del ganado y que este es un punto clave para reducir el contenido de sales en el estiércol, disminuyendo la concentración de sales en las dietas alimenticias. La mayoría del ganado necesita suministró de sodio, al mismo tiempo que la ración alimenticia aporte adecuadamente cloro. Experimentos realizados han demostrado que el nivel de sales solubles en la dieta alimenticia se puede reducir hasta un 0.25 %, para disminuir el contenido de sales en los estiércoles sin afectar la producción del ganado de engorda.

El estiércol tiene pH generalmente alcalino y su composición salina depende de la cama utilizada. Su conductividad eléctrica es elevada, por lo que, deben mezclarse en pequeñas dosis si se utilizan como componentes de sustratos. La conductividad eléctrica puede controlarse con lavados artificiales (Bures, 1997).

Compostaje de Estiércol

Leggett (2002), dice que el estiércol de bovino es un material biológicamente activo que contiene bacterias y otros microorganismos que utilizan la energía que este contiene a través de la actividad microbiana, durante el proceso de descomposición del estiércol. El tipo de microorganismo que utilizará la energía contenida en el estiércol para producir diferentes subproductos como CO₂, agua, calor y humus estable, dependerá de la temperatura, pH, contenido de humedad, edad y composición inicial del estiércol. Además la manipulación biológica del estiércol es utilizada para manejar olores, nutrientes, consistencia y estabilidad del producto final. Por ejemplo, si el estiércol se combina con un material rico en carbono como el aserrín y tiene un suministro adecuado de oxígeno, se puede transformar en una composta estable. Por otra parte, al eliminar todo el oxígeno y al adicionar

calor a un estiércol fresco que contenga poca cama de ganado, puede ser transformado en biogás y un líquido bajo en olores, rico en nutrientes y estabilizado. Los microorganismos aeróbicos del estiércol de bovino, necesitan diferentes condiciones ambientales y alimento, para generar diversos subproductos como se indica en el cuadro 5.

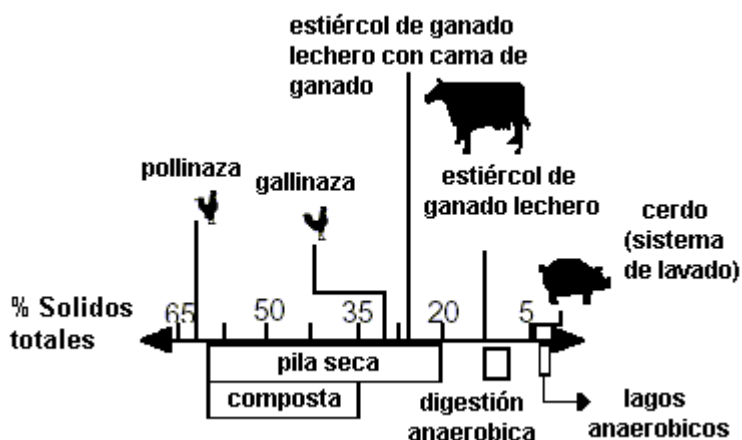
El tipo de forraje también afecta la actividad microbiana. Dietas a base de forrajes verdes (alto contenido de proteína) crean condiciones anaerobias y olores fuertes, que las dietas a base de forrajes secos. Un ejemplo es el estiércol de ovinos que produce menos olores por su bajo contenido de nitrógeno, que el estiércol de gallinas y cerdo. El nitrógeno y el oxígeno son factores limitantes para la actividad microbiana, cuando el nitrógeno es abundante la actividad microbiana está limitada por el suministro de oxígeno, debido a que este es consumido rápidamente.

Cuadro. 5. Condiciones ambientales, fuente de alimento y subproductos generados por los microorganismos aeróbicos del estiércol de bovino.

Microorganismos	Condiciones ambientales	Fuente de alimento	Subproductos
Bacterias	Oxígeno disponible Humedad adecuada pH no ácido	Materia orgánica fácilmente degradable como ácidos orgánicos y azúcares.	CO ₂ , H ₂ O, NH ₃ Humus estable
Actinomicetos	Ambientes pocos húmedos y calientes Oxígeno disponible pH > 5 Contenido bajo de nitrógeno	Materia orgánica compleja, como grasas, proteínas y celulosa, también ácidos y azúcares.	CO ₂ , H ₂ O, NH ₃ Humus estable
Hongos	Oxígeno disponible Rangos variados de pH Humedad adecuada.	Celulosa, hemicelulosa, grasas, lignina y nitrógeno orgánico.	CO ₂ , H ₂ O Humus estable

Fuente: (Leggett, 2002)

La actividad biológica es afectada por el contenido de sólidos de cada tipo de estiércol y también por el tipo de manejo al que se someta como se muestra en la figura 1.



Fuente: Leggett (2002)

Figura. 1. Contenido de sólidos en diferentes estiércoles, tipo de manejo y su relación con la actividad biológica.

El compostaje del estiércol favorece la formación de un material prehumificado, fácilmente mineralizable y con una importante carga bacteriana beneficiosa. Este método consiste en construir un montón de estiércol, realizando una mezcla homogénea del mismo, regarlo solo si es necesario, con agua (debería hacerse con purines, para aprovechar mejor los elementos fertilizantes), ya que debe tener una humedad adecuada para el metabolismo microbiano y no compactarlo, de manera que se produzca una fermentación aerobia durante todo el proceso; se dan volteos si se presentan condiciones anaeróbicas en la evolución del compostaje; para airear la mezcla o bien para reanudar el proceso de maduración, si este se detiene. Este proceso dura de 3 a 6 meses o incluso más dependiendo del manejo y de las características del material (Labrador, 1996). El clima de la zona nos impondrá los periodos de riego, la orientación del “montón” y si se debe proteger o no (Urbano, 1988).

Reines *et al* (1998), indican que es importante que durante el proceso de compostaje el estiércol se mantenga húmedo, porque se trata de un proceso biológico y el agua es importante para los microorganismos, principalmente las bacterias, cuya actividad se reduce cuando la humedad se encuentra por debajo de 40 %, además, el agua arrastra el exceso de sales procedente de la orina y disminuye el pH a un valor neutro. Por su parte Haug (1980), menciona que los materiales se compostan más fácilmente con un contenido de humedad de 45 a 60 %, pero el contenido óptimo es de 50 a 65% y que para el compostaje de estiércoles el contenido máximo de humedad es de 55 a 65%.

El compostaje de estiércol se lleva acabo formando pilas de estiércol al aire libre, el volteo se hace dos veces por semana para favorecer la actividad microbiana y acelerar el proceso de fermentación, terminado esto el material estará listo y su pH deberá oscilar entre 7.5 y 8.5 (Reines *et al.*, 1998) y es un método útil para obtener un producto estabilizado libre de olores y moscas, que se puede almacenar o esparcir al suelo. Este proceso elimina patógenos y la viabilidad de las semillas de malezas, además mejora su manejo porque se reduce el volumen y peso de los estiércoles. La composición química y biológica inicial del estiércol depende de la ración alimenticia, edad del animal y las camas utilizadas en los comederos (Eghhall y Power, 1990).

Proceso de Compostaje

El compostaje es la biodegradación aeróbica de la materia orgánica, bajo condiciones controladas que permiten obtener al final del proceso de descomposición un compost maduro, el cual, es un abono orgánico altamente humificado, seguro desde el punto de vista sanitario, libre de sustancias fitotóxicas y los nutrimentos que contiene estarán disponibles para las plantas después de un proceso gradual de mineralización (Datzell *et al*, 1991; Costa *et al.*, 1991).

Taiganides (1977), menciona que el compostaje es un proceso biológico en el cual los factores que afectan a los microorganismos involucrados deben controlarse para lograr una alta descomposición y al mismo tiempo, obtener un producto final estable. Los factores de mayor importancia en el proceso son: contenido de humedad, aireación, relación carbono/nitrógeno (C:N), contenido de fósforo y potasio, temperatura, pH, tamaño de la partícula, micronutrientes y condiciones ambientales adecuadas para el crecimiento de organismos aeróbicos.

Chefetz *et al.*, (1998), comentan que el proceso de compostaje es una descomposición predominantemente aeróbica, que se puede dividir en tres fases. En la fase inicial se descomponen más rápido los materiales más simples como: azúcares, proteínas, almidones y hemicelulosas como se muestra en la figura. 2.

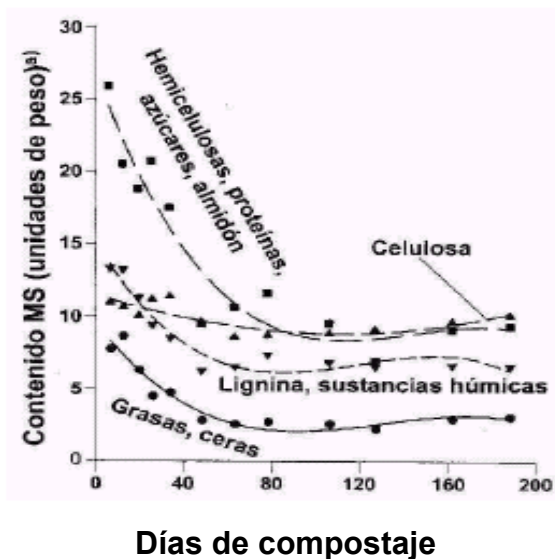


Figura. 2. Dinámica de cuatro fracciones químicas durante el proceso de compostaje (Chefetz *et al.*, 1998).

Una segunda fase de temperaturas más altas, donde se degradan los materiales más resistentes como la celulosa, lignina y finalmente la fase de

síntesis, donde se forman las sustancias húmicas (Paul y Clark, 1996), como se indica en la Figura. 3.

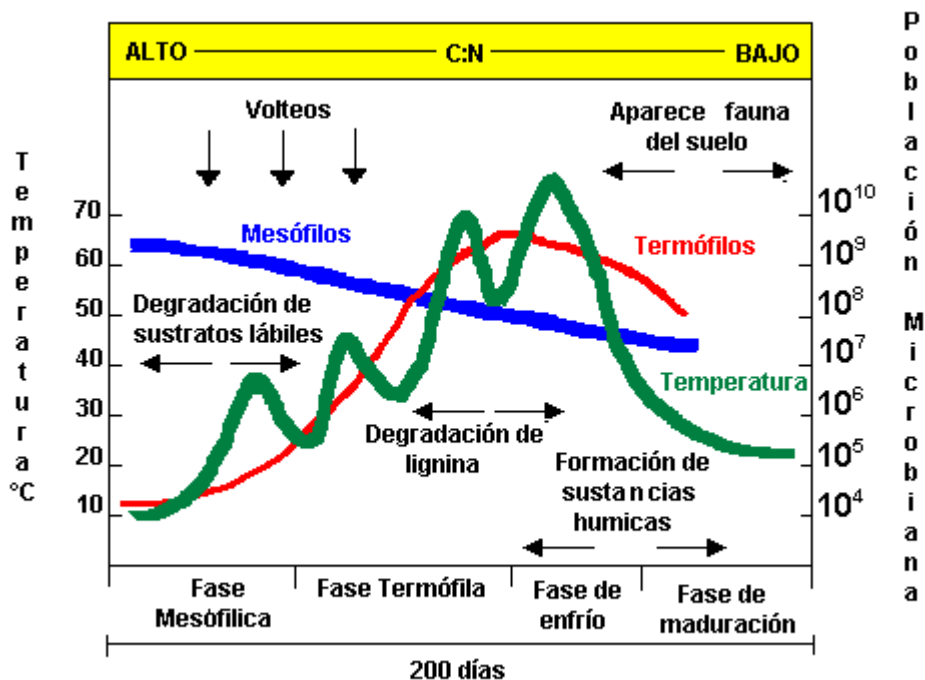


Figura. 3. El proceso de compostaje (Paul y Clark, 1996).

La condensación de los fenoles y amonio en el proceso de humificación, es tal vez la fase más importante en el proceso de compostaje. Durante los primeros 15 días no se da aumento en el contenido de ácido húmicos y fúlvicos, (relación 0.3:1), posteriormente hay un fuerte incremento en el contenido de ácidos húmicos, que cambia la relación 10:1 de ácidos húmicos a fúlvicos (Paul y Clark, 1996).

Sustrato

Labrador (1996), determina que las características más importantes de los sustratos que se sometan a un proceso de compostaje son:

Naturaleza: puede ser agrícola, ganadero, forestal, urbano, industrial, etc. La importancia de su origen radica en sus características físicas y químicas.

Tamaño de las partículas: el tamaño ideal es de 1 a 5 cm, a menor tamaño, mayor facilidad para el ataque microbiano y mayor velocidad de transformación. Los residuos líquidos o semilíquidos deben mezclarse con materiales que les aporten mayor porosidad.

Composición de los materiales: estos deben contener carbono, nitrógeno, fósforo y la mayoría de los micronutrientes esenciales para la síntesis de enzimas y el metabolismo de los microorganismos, pero su cantidad debe tener una proporción equilibrada.

Temperatura

La temperatura de la pila de compostaje varía en función de la actividad microbiana, dividiéndose el proceso en fases: mesófila, termófila, de enfriamiento y maduración. El calentamiento inicial no debe sobrepasar 60 – 70 °C (Stetinford, 1996).

La temperatura durante el proceso de compostaje es producto de la gran actividad microbiana en la mineralización de los materiales orgánicos. Temperaturas mayores de 55°C, maximizan la sanidad del proceso. Estas temperaturas son requisitos indispensables en el tratamiento de gallinaza para cumplir con la legislación de Costa Rica (Ley N° 291145-MAG-S MINAE) y para el tratamiento de todas las excretas animales frescas para cumplir con la normativa de Estados Unidos NOP (7 CFR Parte 205). Pero no necesarias para el compostaje de desechos vegetales. Temperaturas de 45-55°C favorecen la velocidad de descomposición, y temperaturas menores de 45°C favorecen la diversidad microbiana, así como disminuyen la volatilización de nitrógeno. La configuración geométrica de las pilas es el factor que más afecta el

comportamiento de la temperatura. Elevadas temperaturas, obedecen al desajuste entre la altura y la sección transversal del cúmulo, se recomienda en casos de sobre calentamiento, reducir estas dimensiones para permitir la pérdida de calor y controlar la evolución de la temperatura. (Stentiford, 1996).

Dado que la pérdida de calor es proporcional a la superficie y la generación de calor al volumen, en pilas grandes se tendrá un aumento considerable de la temperatura, por el calentamiento de masas en fermentación a través de la actividad biológica, llegando a valores de 75 a 80 °C, que representa el límite de autocalentamiento de masas orgánicas por causas biológicas, mientras que en pilas pequeñas se presenta un estancamiento temporal de la temperatura a 40 °C (Golueke, 1977). Durante el compostaje se presentan diferentes temperaturas en distintas partes de una pila como se indica en la figura 4.

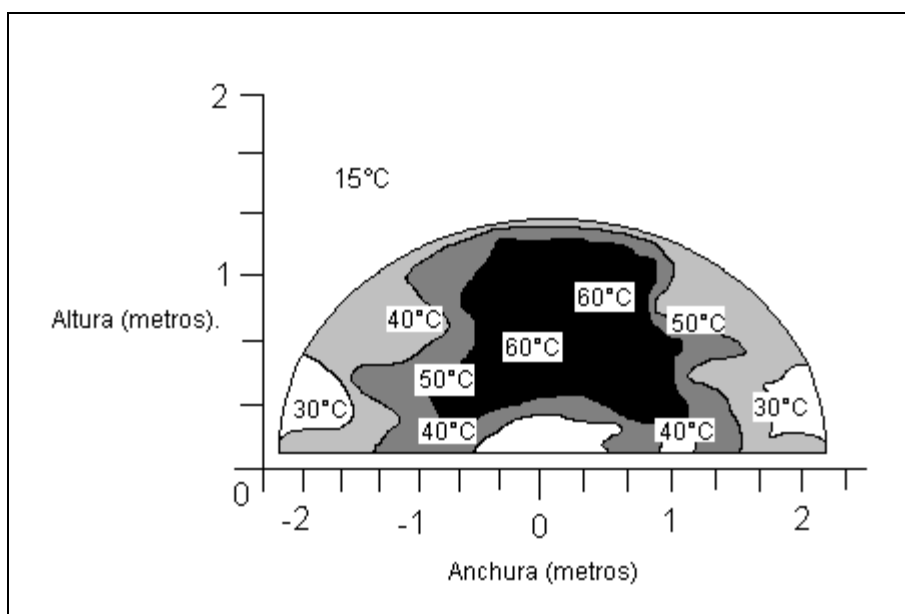
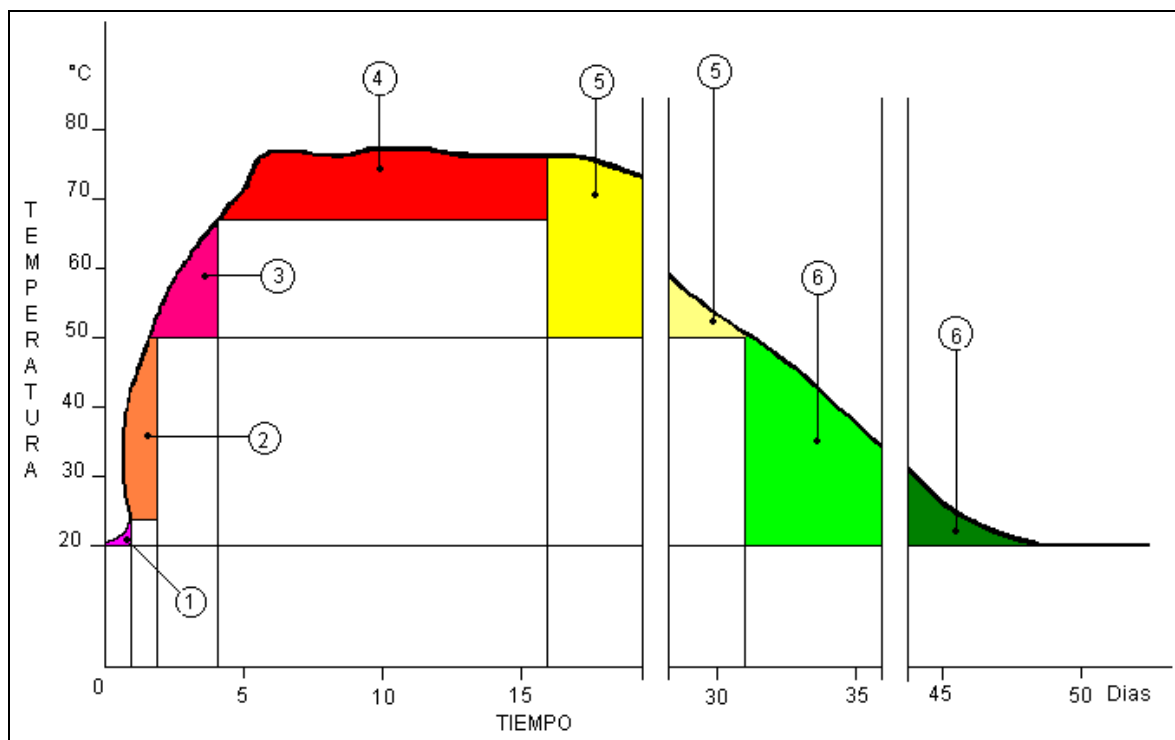


Figura. 4. Temperaturas en diferentes secciones de una pila de compostaje. Tomado de Atlas y Bartha, 2002

La evolución microbiana a través del tiempo y la variación de la temperatura durante el proceso de compostaje se muestran en el cuadro 6 y la figura 5.

Cuadro. 6. Evolución biológica durante la fermentación aeróbica de desperdicios orgánicos.

Número de referencia	Fases	Duración	Temperatura °C	Numero de gérmenes Por gramo de D.D.			Especies vivientes y evoluciones.	
				Total	Distribución		Especies "Útiles"	Patógenos y parásitos
					Mesofílico	Termofílicos.		
1	Latencia	≅ 1 día	20 °C	$8 \cdot 10^9$	$8 \cdot 10^9$	$0,1 \cdot 10^4$	Bacterias, hongos, protozoarios	Insectos, gusanos, huevos, rosarios de esferas, gérmenes patógenos.
2	Mesofílica 1	15 horas	20 a 50 °C	$5 \text{ a } 6 \cdot 10^4$	$5 \cdot 10^9$	$0,2 \cdot 10^4$	Numerosas bacterias mesofílicas, pocas termofílicas, hongos mesofílicos.	Eclosión forzada de los huevos, evolución de las larvas, huida de los insectos.
3	Termofílico 1	56 horas	50 a 65 °C	$50 \cdot 10^4$	$5 \cdot 10^4$	$45 \cdot 10^4$	Hongos termofílicos, sustancias antibióticas	Destrucción de los huevos y larvas de insectos, de la tenia, de los rosarios de esferas. Inicio de destrucción de las bacterias patógenas.
4	Termofílico 2	12 días	65 a 75 °C	$10\text{-}15 \cdot 10^4$	$1 \cdot 10^4$	$12 \cdot 10^4$	Desaparición de los hongos termofílicos, aparición de las bacterias termofílicas	Destrucción de las bacterias patógenas, salmonella paratyphus, bacilos intestinales.
5	Termofílico 3	15 días	75 a 50 °C	$8 \text{ a } 10 \cdot 10^4$	$0,5 \cdot 10^4$	$8 \cdot 10^4$	Bacterias y algunos hongos termofílicos, actinomicetos.	Destrucción final de las bacterias patógenas, incluyendo las especies esporogénicas.
6	Mesofílico 2 (maduración)	20 días	50 a 20 °C	$10 \cdot 10^4$	$15 \cdot 10^4$	$5 \cdot 10^4$	Desaparición termofílicas, actinomicetos, hongos y bacterias mesofílicas sustancias antibióticas.	Ausencia de gérmenes patógenos.



Fuente: Longuet (1977).

Figura. 5. Variación de la temperatura durante el proceso de compostaje.

pH

La solubilización y transformación de materia orgánica por los microorganismos en la primera fase de descomposición del compostaje, sobre la película líquida situada alrededor de los materiales sólidos como: aminos, carbohidratos, ácidos volátiles y fenoles, que son biodegradados y transformados en dióxido de carbono (Hirai *et al.*, 1983), esta mineralización es responsable de la disminución e incremento del pH (Jiménez y García, 1989; Harada *et al.*, 1981, Inbar *et al.*; 1990).

Al igual que la temperatura es un indicador de buen funcionamiento en el proceso de compostaje. El valor óptimo es de 5 a 8. Las bacterias prefieren un pH cercano al neutro y los hongos toleran un pH ácido. El pH disminuye en la fase inicial del proceso, debido a la liberación de ácidos orgánicos. A medida que este continúa, estos ácidos orgánicos son descompuestos liberando bases y altos contenidos de amoníaco que elevan el pH (Soto, 2003).

Este parámetro desciende ligeramente al inicio del proceso y se eleva junto con la temperatura, disminuye en la etapa de madurez y se estabiliza en un rango de 7 a 8. (Labrador, 1996). Por su parte Monroy y Viniegra (1981), mencionan que el pH inicial en el proceso de compostaje es ligeramente ácido de pH 6, parecido al material celular de los vegetales y también por la producción de ácidos orgánicos. En fases posteriores, al aumentar la temperatura el pH también se eleva y se mantiene ligeramente alcalino por la liberación de amoníaco. Ferrer (1994), menciona que el pH es un parámetro que indica el buen desarrollo del proceso y la actividad microbiana. El pH inicial en materiales digeribles, basuras y estiércol, es de 5.5 a 7; éste empieza a incrementarse por la pérdida de ácidos orgánicos que se volatilizan por temperaturas elevadas, producidas por la actividad microbiana y por la liberación de amoníaco, producto de la mineralización del nitrógeno orgánico. Después el pH se ajusta en un rango de 7.5 a 8.5, y puede ser crítico si sobrepasa los niveles de 8.5, efecto producido por la volatilización del amoníaco (NH_3) que genera pérdida de nitrógeno y malos olores. El Grupo Interdisciplinario de Estudios Moleculares (GIEM, 1999), considera que un pH de 8.1 a 8.5 al final del proceso indica la estabilización de la composta y por tanto un producto apto para el uso agrícola.

Aireación

La presencia de oxígeno durante el proceso de compostaje es importante en las fases iniciales. Para favorecer una buena oxigenación, se deben realizar

volteos frecuentes, tener un tamaño de partícula de 1 a 5 cm, hacer una mezcla uniforme de los materiales a compostar y tener un contenido de humedad adecuado. Un exceso de ventilación puede provocar enfriamiento de los materiales y retardar el proceso de compostaje. Poco oxígeno – menos del 20% - provoca condiciones anaeróbicas y producción de H_2S y otros productos fitotóxicos. La máxima actividad microbiana necesita de 28 a 55 % de O_2 . La frecuencia de volteo esta determinada por la presencia de oxígeno. Se han diseñado equipos que miden el contenido de oxígeno y CO_2 en el interior de la pila de compost, cuando estos equipos indican una concentración de CO_2 superior al 8%, la pila debe ser volteada. Si no se cuenta con este equipo, la frecuencia de volteo esta determinada por la temperatura, que es un indicador indirecto de la actividad microbiana. Aunque el compostaje es un proceso predominantemente aeróbico, se tendrán puntos anaeróbicos en diferentes partes del montículo. Los organismos anaeróbicos son menos eficientes en su metabolismo, y esto hace más lento el compostaje anaeróbico, que el proceso aeróbico (Costa 1991, citado por Labrador, 1996).

Humedad

El contenido de humedad óptimo esta entre el 30 - 60 %, este disminuye a través del proceso de compostaje y depende de la frecuencia de volteo y de las condiciones climáticas. Durante la etapa de descomposición de los residuos orgánicos la humedad debe estar entre 35 – 40 %, ya que es una actividad preferentemente bacteriana. En la etapa de estabilización la humedad requerida es menor, y es una actividad realizada por actinomicetos y hongos. Si la humedad es escasa la actividad microbiana disminuye. Altos niveles de humedad limitan una buena oxigenación y provocan una mayor pérdida de nitrógeno. Una actividad microbiana aeróbica deficiente, provoca condiciones que favorecen la desnitrificación, por esta razón se debe tener una humedad adecuada (Soto, 2003). Por su parte Martínez, (1995) menciona que el compostaje requiere una humedad entre 40 a 65 %.

Uno de los factores más importantes en el proceso de compostaje, es la humedad, ya que si es baja, los microorganismos no se desarrollan por falta de agua suficiente para su metabolismo, disminuyendo su actividad. Si es muy alta, el oxígeno es desplazado, y se presentan circunstancias que originan condiciones anaerobias (Orozco, 1980). Para un proceso de compostaje aeróbico eficiente se requiere de 40 a 60% de humedad. Características físicas como la porosidad y capacidad de absorción de los materiales orgánicos utilizados, pueden aparentar diferentes contenidos de humedad, aunque este sea el mismo (Gouin F, 1980).

La humedad es determinante en el proceso de compostaje, por lo tanto se debe tener un control de ella para mantenerla en el rango ideal, ya que un mal manejo disminuye la velocidad de las reacciones que se presentan en este, llegando incluso a detener el proceso (Anro, 1985).

Relación carbono – nitrógeno (C:N)

Ronald (2001), menciona que la relación C:N es un aspecto importante a ser considerado en la transformación de la materia orgánica. El nitrógeno es un elemento esencial requerido para el crecimiento microbiano y la degradación microbiana. Cuando la materia orgánica tiene alto contenido de nitrógeno, los microorganismos tienen suficiente sustrato para inducir mayor mineralización, ya que la microflora (bacterias, hongos y actinomicetos) satisface plenamente sus necesidades de N, por lo que no es un factor limitante para ellos como se indica en el cuadro 7. Si el contenido de nitrógeno es bajo, la tasa de descomposición de la materia orgánica disminuye drásticamente y la tasa de mineralización de carbono orgánico dependerá de la adición de fuentes nitrogenadas.

Cuadro. 7. Relaciones C:N (contenido de nitrógeno) y su efecto sobre la fertilidad.

Contenido(%m.s.)	$N \geq 2.4$	$2.4 > N \geq 1.2$	$N < 1.2$
C:N	< 20	$20 < C:N \leq 30$	> 30
Efecto	Exceso de N (Liberación de N mineral)	Equilibrado	Exceso de energía (Bloqueo de N mineral)

Fuente: Diehl *et al.*, (1985).

Los microorganismos requieren 30 partes de carbono por 1 de nitrógeno (30:1), la relación C:N óptima esta entre 26 y 35. Una relación inferior, tiene mas concentración de nitrógeno y produce perdidas del mismo en forma amoniacal, si es mayor el proceso se retrasa. En el caso de lodos residuales la relación óptima es de 15 a 20 (Ronald,2001).

Otros autores como Dalzell *et al.*, (1987) mencionan que la relación carbono-nitrógeno (C:N) del sustrato es un factor importante que controla la velocidad del proceso, el carbono y nitrógeno son fuentes de energía necesaria para los microorganismos para crecer y multiplicarse, así como el fósforo y otros elementos en menor proporción. Esta relación debe estar entre 25:1 y 35:1; si la relación es mayor el proceso requiere mayor tiempo; si es menor, gran cantidad de nitrógeno se volatiliza en forma de amoníaco. Conociendo la estructura molecular de los organismos que intervienen en el compostaje, se determina que tipo de sustrato es preferido por los diferentes organismos. Las bacterias presentan un contenido proteínico mayor que los hongos, llegando a ser hasta el 55% de su peso. La pared celular de los hongos del genero *Aspergillus*, está formada de 53% de glucosa y 19 % de quitina. Las bacterias requieren de sustratos con mayor contenido de nitrógeno que los hongos.

Relaciones C:N altas, ocasionan que el proceso de descomposición sea más lento, relaciones C:N bajas, favorecen la pérdida de N por falta de estructuras de carbono que permiten retener el N (Hansen, *et al.* 1993). También la temperatura puede variar dependiendo de la relación C:N como se indica en el cuadro 8.

Cuadro. 8. Temperaturas que puede alcanzar una pila de compostaje dependiendo de su relación C:N.

Relación Carbono: Nitrógeno	Temperatura Máxima
30:1	68 °C
40:1	60 °C
60:1	40 °C

Fuente: Alcolea (2002).

La relación C:N también es un factor que puede determinar el tiempo de compostaje, relaciones C:N bajas inducen un periodo de compostaje corto y relaciones C:N altas necesitan más tiempo como se indica en el cuadro 9.

Cuadro. 9. Tiempo de compostaje afectada por la relación C:N (Haug, 1980)

Relación C:N inicial.	Tiempo de compostaje
20	12 días
20 - 50	14 días
78	21 días

Diferentes relaciones de carbono/nitrógeno provocan una disminución de la actividad microbiana, el conocimiento de la relación C:N de diferentes materiales permite balancear mezclas adecuadas para tener un buen proceso de compostaje (Alcolea, 2002), como se muestra en el cuadro 10.

Cuadro. 10. Relación C:N de diferentes materiales orgánicos.

Relación C:N de diversos materiales orgánicos	
Materias Orgánicas	Relación C:N
Restos de serrerías	150 a 200
Papel	150 a 200
Pajas: Cañas de maíz	150
Trigo / cebada	100
Avena / centeno	60
Hojas: Aliso	20 a 30
Abedul, roble, sauce	40 a 60
Turba	30 a 100
Abonos verdes y césped	10 a 20
Matas de leguminosas	10 a 15
Residuos de cultivo de champiñón	30 a 40
Residuos orgánicos de:	
Bovino: Purín	2 a 3
Lisín	5 a 8
Estiércol con paja	15 a 30
Porcino: Lisier	4 a 7
Ovino: Estiércol	15 a 20
Aves: Estiércol	10 a 15
Materias fecales humanas	5 a 20
Harina de sangre	3

Fuente: Mustín (1987), citado por Labrador (1996).

Microorganismos

Una composta contiene diversos grupos de microorganismos, debido a que las condiciones de compostaje varían y cambian continuamente en diferentes secciones de la pila, y por lo tanto existe una gran diversidad de microambientes y microorganismos asociados a ellos. Dicha diversidad es vital para el proceso de compostaje, por toda la gama de enzimas y reacciones metabólicas necesarias para la descomposición de diferentes sustratos. Los microorganismos más importantes son: bacterias, hongos y actinomicetos, estas especies pueden ser mesofílicas y termofílicas (Rynk, 1992), como se indica en el cuadro 11.

Cuadro. 11. Algunos de los microorganismos que participan en el proceso de compostaje, en sus diferentes fases.

	Fase Mesófila	Fase Termófila	Fase de Maduración	Referencia
Bacterias	<i>Bacillus brevis</i> , <i>B. Circulans</i> , <i>B. subtilis</i> <i>B. licheniformes</i>	<i>Bacillus stearrowthermophilus</i>		Paul y Clark, 1996.
Actinomicetos		<i>Thermophilum</i>		Paul y Clark, 1996
Hongos		<i>Absidia glauca</i> , <i>Mucor</i> , <i>Allescheria spp.</i> , <i>Trichoderma spp.</i> , <i>Penicillium spp.</i> , <i>Aspergillus</i> , <i>Verticillium tenerum</i>	<i>Nocardia, sp.</i> , <i>Streptomyces sp.</i> , <i>Thermoactinomyces</i>	Paul y Clark, 1996. Klamer y Sochting, 1998

Los microorganismos durante el proceso de compostaje varían dependiendo de los sustratos y las condiciones del proceso. Sus interacciones y

la secuencia de ellas determinan el tiempo de compostaje. Bacterias del género *Bacillus sp* y hongos, se encargan de la fase mesófila. El 10% de la descomposición se realiza por bacterias, del 15-30% por actinomicetos. Al desaparecer los materiales simples, los que predominan son actinomicetos, hongos y levaduras (Paul y Clark, 1996).

Los microorganismos consumen oxígeno del aire y energía de los residuos orgánicos y emiten dióxido de carbono, agua y energía, se reproducen y finalmente mueren. Los microorganismos utilizan rápidamente los carbohidratos y lípidos que son fácilmente degradables. Las hemicelulosa y celulosa son degradados hasta cierto punto mientras que la lignina es el material más resistente a la degradación. Las formas solubles de nitrógeno son asimilados de inmediato y las insolubles deben ser solubilizadas antes de ser usadas por los microorganismos. Durante la fermentación se produce amoníaco por medio de la diseminación oxidativa de aminoácidos. La mayor parte del nitrógeno sintetizado se encuentra en las proteínas (Golueke, 1977).

Efectos del pH en los microorganismos

Los iones hidrógeno (H^+) e hidróxido (OH^+) son tóxicos para los microorganismos dependiendo del pH que estos produzcan que puede ser ácido o básico, muchas bacterias no sobreviven en una solución de pH 3, aunque la concentración de H^+ sólo es de 1 mg/l. Un pH alto o bajo causa un cambio de ionización de los grupos amino y carboxilo que son componentes de las proteínas. Éste efecto causa un cambio en la estructura física de la proteína y una pérdida de actividad enzimática (Haung, 1980).

Modificación del pH por los microorganismos

Brock (1978), menciona que los microorganismos a través de sus actividades modifican el pH de sus ambientes. Las bacterias que fermentan la

glucosa, producen ácido láctico y bajan hasta dos unidades de pH de sus ambientes. Las levaduras bajan el pH al excretar activamente iones H^+ al medio. Los microorganismos más que elevar el pH de sus ambientes, lo bajan, porque la mayoría de los productos obtenidos de la fermentación son ácidos. El pH se eleva por medio de la actividad microbiana, generalmente porque se libera amoníaco a través de la diseminación de aminoácidos o de otros compuestos orgánicos que contienen nitrógeno. El pH ambiental cambia también por la retirada selectiva de sustancias del medio. Los hongos que necesitan nitrógeno amónico para su crecimiento (NH_4Cl) reducen el pH de su medio al retirar del NH_4^+ el ión H^+ , los que necesitan sales de nitrato para desarrollarse, elevan el pH al quitar el ión nitrato (NO_3^-) del $NaNO_3$. Los microorganismos cambian con frecuencia el pH de su propio hábitat, al producir residuos metabólicos ácidos o básicos. Los microorganismos al fermentar hidratos de carbono producen ácidos orgánicos, los quimiolitótrofos como *Thiobacillus* oxidan compuestos reducidos de azufre a ácido sulfúrico. Otros, alcalinizan su ambiente produciendo amonio mediante la degradación de los aminoácidos.

Durante la etapa mesófila se desarrollan hongos y bacterias productoras de ácido, al aumentar la temperatura arriba de $40\text{ }^\circ\text{C}$, son sustituidos por bacterias, hongos y actinomicetos termófilos; a temperaturas cercanas a $70\text{ }^\circ\text{C}$ se encuentran principalmente bacterias esporulantes, al disminuir la temperatura, vuelven a aparecer las bacterias y hongos mesófilos productores de ácido (Monroy y Viniegra, 1981). Un factor importante que afecta la descomposición y a todo el proceso de la fermentación de humus, es el pH. Un pH alcalino, así como un contenido alto de nitrógeno en los residuos vegetales, favorecen el crecimiento de bacterias, mientras que los hongos requieren para su desarrollo condiciones completamente opuestas (Tamhane, 1986).

Los factores que afectan a los microorganismos y otros organismos vivos comprenden: agua, energía en forma de luz y compuestos químicos, temperatura, nutrientes, presión, pH y salinidad (Prescott, 1999).

Sistema de compostaje.

En sistemas abiertos las pilas de compostaje se colocan a la intemperie, se puede formar pilas de aireación forzada utilizando sistemas de ventilación internos o pilas de aireación manual o mecánica, realizada a través de volteos constantes. En sistemas cerrados se utilizan aparatos especiales denominados reactores estos son verticales, los sistemas horizontales se consideran sistemas bioestabilizadores y no compostadores (Costa, 1991; citado por Labrador, 1996).

Algunos métodos para evaluar la madurez o estabilidad de una composta

Wu *et al.*, (2000), definen *estabilidad* como el grado de descomposición de la materia orgánica y *madurez* como el grado de descomposición de sustancias fitotóxicas producidas durante la fase activa del compostaje. Ambos términos son importantes porque involucran problemas como contaminación ó fitotoxicidad causada por una descomposición incompleta, que provocan inmovilización del N por relaciones C:N desbalanceadas, daños a las raíces de las plantas por concentraciones elevadas de amonio y por la producción de H₂S y NO₂ en condiciones anaeróbicas. La germinación de semillas se puede afectar por compuestos fenólicos y ácidos alifáticos producidos durante la descomposición. Estos compuestos en grandes cantidades y condiciones de alta pluviosidad, pueden producir contaminación en los cuerpos de agua. Por su parte Mathur *et al* (1993), mencionan que otro problema de la inestabilidad o inmadurez de una composta son los olores producidos en el almacenamiento, ya que en éstas compostas el proceso de descomposición sigue activo y un

bajo suministro de aire favorece condiciones anaerobias que producen metano y N_2O , que afectan a la atmósfera. Otro problema es la proliferación de moscas que afectan la salud humana y animal.

Factores de observación simple.

Porta y Cols (1991); citados por Labrador (1996), mencionan que los factores de observación simple para determinar la madurez de una composta son los siguientes:

Olor: los olores desagradables iniciales desaparecen con la madurez del producto, el de un composta madura es parecido al suelo de bosque.

Temperatura estable: se considera un composta madura, aquella que pasa por las distintas fases de aumento y disminución de temperatura, se estabiliza con la temperatura ambiente, y no aumenta con el volteo.

Color: el color de una composta se oscurece con la madurez llegando a un color marrón oscuro o negro, dependiendo de los materiales utilizados.

Peso específico: su valor se incrementa con el proceso de compostaje.

Métodos de Análisis Químicos

Determinación de pH: el pH en compostas maduras debe estabilizarse dentro de los valores de 7 a 8. (Porta y Cols 1991; citados por Labrador, 1996)

Relación C:N: una composta se considera madura, cuando su relación C:N es menor a 20 o lo más cercano a 15, pero también depende de los materiales utilizados. La relación C:N ideal debe ser lo más cercana a 10, sin embargo, la disponibilidad de C en esta relación depende del tipo de compuesto en el que

predomine el C, como lignina, polisacáridos, lo cual determina la resistencia a la descomposición y por lo tanto la disponibilidad de N (Soto, 2003).

Relación ácidos húmicos/ácidos fúlvicos (AH/AF): esta relación se emplea como índice de madurez, en la cual la relación del contenido carbono de ácidos fúlvicos y el carbono de ácidos húmicos, debe disminuir a lo largo del proceso de compostaje (Porta y Cols, 1991; citados por Labrador, 1996).

Relación NH_4^+ -N/ NO_3^- -N en extractos acuosos: una composta inmadura tendrá mas niveles de amonio que de nitratos, se ha encontrado que en una composta madura la relación NH_4^+ -N/ NO_3^- -N en extractos acuosos varía entre 0,03 a 18.9 (Hirai *et al.*, 1983).

Determinación de NH_4^+ y SH_2 : En un composta madura no se deben encontrar al final del proceso de compostaje cantidades apreciables de estos dos compuestos, el amonio no debe sobrepasar el 0.04 % (Porta y Cols; 1991 citados por Labrador 1996).

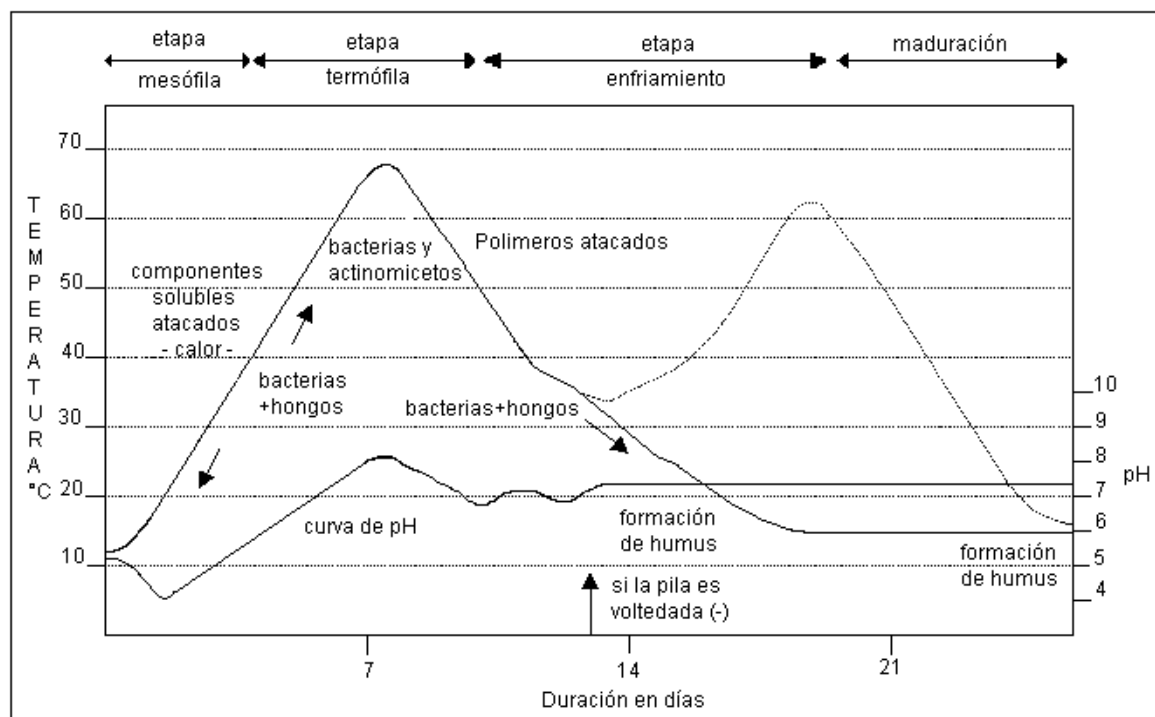
Determinación de la capacidad de intercambio catiónico: La capacidad de intercambio catiónico aumenta a través del proceso de compostaje. Un composta madura tiene una alta capacidad de adsorción físico-química de cationes que se incrementa durante el proceso de humificación (Stevenson, 1982, Estrada *et al.*, 1987). El incremento de la Capacidad de Intercambio Cationico (CIC) es a menudo reconocida como un buen indicador de estabilización de la materia orgánica, para compostas de desechos animales la $\text{CIC} > 100 \text{ meq}/100 \text{ g}$ de materia orgánica M.O. (Harada e Inoko, 1980), para desechos municipales y desechos verdes o frescos la $\text{CIC} > 20 \text{ meq}/100 \text{ g}$ de M.O. (Van de KerKhove, 1990).

Temperatura, pH y CE durante el proceso de compostaje

La temperatura y pH cambian en cada etapa del proceso de compostaje. Ambos son afectados y son difíciles de manipular, si los demás parámetros no están dentro de su rango óptimo. Durante la primera etapa de compostaje, la temperatura se eleva lentamente y el pH decrece a un nivel ácido de 5 a 6. Tan pronto como el pH desciende, la temperatura se incrementa rápidamente en la etapa mesófila (temperaturas de 20 - 40° C). En la etapa termófila (temperaturas de 50-70 °C) el pH excede el 7 y alcanza valores de 8-9. Mientras el pH permanece alcalino con valores de 7 a 9, la temperatura comienza a decrecer hasta alcanzar la temperatura ambiente después de varios días o varias semanas, dependiendo del método de compostaje utilizado como se indica en la figura 6 (Taiganides, 1977).

El pH y la temperatura varían en el proceso de compostaje, en los primeros días el pH es de 5 o menor, debido a la presencia de ácidos orgánicos simples. La temperatura se incrementa por la producción de organismos mesófilos. En la etapa termófila el pH se eleva de 8 a 8.5, el pH de una composta madura es de 7 a 8 (Corporación de Investigación de Chile, 1999).

Corlay *et al.*, (1999), en un estudio de microorganismos mineralizantes de nitrógeno en el proceso de producción de vermicomposta, mencionan que los desechos orgánicos utilizados: paja de avena utilizada como sustrato para la producción del hongo *Pleurotus*, estiércol de bovino lechero y desechos hortofrutícolas, se compostaron durante un mes aproximadamente, bajo condiciones aeróbicas, hasta que la temperatura se mantuvo alrededor de 20 °C.



Fuente: López – Real (1995) citados por Labrador (1996).

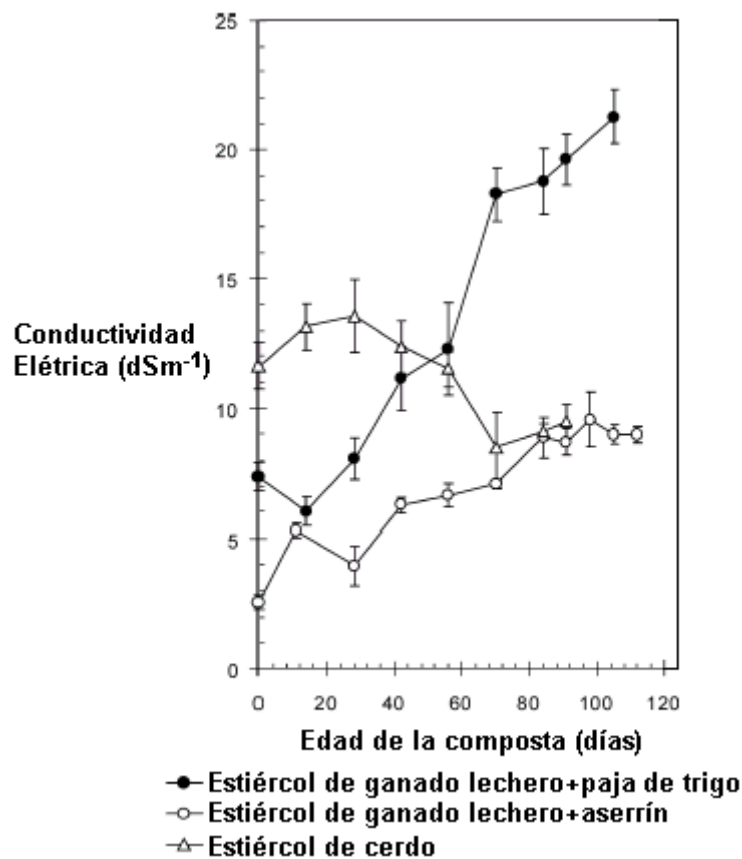
Figura. 6. Comportamiento de temperatura y pH durante el proceso de compostaje.

También mencionan que el descenso de la temperatura y el incremento de la CE reducen la velocidad de las reacciones metabólicas y la estabilidad celular de las poblaciones microbianas durante el proceso de compostaje. Además indican que la presencia de condiciones inhibitoras del crecimiento microbiano en el estiércol de bovino, como CE y pH (13.7 dSm^{-1} y 9.0, respectivamente) alargan el proceso de compostaje y que el NH_3 es una forma nitrogenada que genera pH alcalinos, y que tiene efectos tóxicos en el desarrollo de los microorganismos (Miller, 1993); y que una alta concentración de solutos en el entorno pueden plasmolizar las células microbianas (Brock et al; 1987); e incluso, el proceso digestivo rumiante, previo a la biodegradación de

los estiércoles, consumé elementos nutrimentales necesarios para el desarrollo del metabolismo microbiano y puede acumular metabolitos tóxicos (Mórrison y Mackie, 1996). También Corlay *et al.*, (1999), mencionan que el control de estas condiciones nocivas (pH y CE., elevados), en la actividad microbiana permiten acelerar este proceso para reciclar con mayor facilidad y eficiencia diferentes materiales de desecho.

Por su parte Santamaría *et al.*, (2001), mencionan que un pH de 8.5 y una Conductividad Eléctrica de 8 dSm^{-1} en la transformación de materiales orgánicos causan daños a los microorganismos. Estos mismos autores en un estudio de compostaje de residuos de poda de jardín y estiércol de conejo, reportan que el pH se elevo en la cuarta semana hasta 8.9 y se mantuvo en 8.3 y la CE fue 9.5 dSm^{-1} y disminuyo al final del proceso y mencionan que la mayor concentración de sales provino de los residuos de podas de jardín, cuya CE. inicial fue 13.2 dSm^{-1} como se indica en el cuadro 13, ya que este sustrato se obtuvo de un suelo salino de la Región (Montecillo, Edo. de México) y que en la misma área Corlay *et al.*, (1999) reportan valores de CE de 8 a 18 dSm^{-1} de diferentes sustratos.

Wang *et al.*,(2004), reportan valores de CE durante el compostaje de diferentes estiércoles y menciona que la CE de la composta de estiércol de bovino lechero + paja de trigo y estiércol + aserrín se incrementaron significativamente através del tiempo como se indica en la figura 7 . Al final del proceso de compostaje, el valor más alto de $CE = 21.3 \text{ dSm}^{-1}$ se obtuvo en la composta de estiércol de bovino lechero + paja de trigo, la CE de la otra composta del mismo estiércol + aserrín fue inferior. La tendencia de la CE de la composta de estiércol de cerdo disminuyo através del proceso de compostaje, este autor también reporta datos de pH y humedad de los mismos materiales como se muestra en el cuadro 12.



Fuente: Wang *et al.*,(2004).

Figura. 7. Cambios de la Conductividad eléctrica (CE) durante el compostaje de tres tipos de materiales orgánicos.

Irissón-Name *et al.*, (1999) mencionan que en el compostaje de pulpa de café con volteos periódicos durante seis semanas, el pH disminuyó de 7.1 a 6.5. Santamaría *et al.*, (2001) señalan que valores de pH superiores a 8.5 en el proceso de compostaje, se debe a la presencia de $N-NH_3$, que es la principal pérdida de nitrógeno.

Cuadro. 12. Humedad y pH durante el compostaje de tres materiales orgánicos (Wang *et al.*, 2004).

Composta	Características		
	Edad (días)	pH	% Humedad
Estiércol de ganado lechero + paja de trigo	0	8.54 ± 0.09	67.2 ± 1.31
	56	8.49 ± 0.19	62.9 ± 6.27
	105	8.34 ± 0.34	52.5 ± 1.14
Estiércol de ganado lechero + aserrín	0	8.76 ± 0.06	64.8 ± 0.36
	56	8.58 ± 0.2	63.3 ± 1.07
	112	8.57 ± 0.03	55.8 ± 0.75
Estiércol de cerdo	0	8.88 ± 0.07	65.5 ± 0.86
	56	9.05 ± 0.08	58.7 ± 1.86
	91	8.72 ± 0.11	47.8 ± 2.71

Cuadro. 13. Humedad, conductividad eléctrica (CE) y pH durante el compostaje, de residuos de podas de jardín mezclados con estiércol de conejo (Santamaría *et al.*, 2001).

Inicio de compostado (base seca)	% Humedad	CE (dSm ⁻¹)	pH
Estiércol	68.3*	8.2	8.2
Residuos de podas	30.2*	13.2	7.8
Semana	Mezcla de los materiales.		
4	76±0.7	9.5±0.79	8.9±0.06
8	74±1.1	9.3±0.48	8.3±0.14
12	73±1.4	8.3±0.08	8.6±0.05
16	69±0.9	7.8±0.96	8.6±0.11

* Humedad a 105 °C (%)

Corlay *et al.*, (1999), realizaron compostaje de materiales como: paja de avena utilizada para la producción de hongo comestible del genero *Pleurotus*; estiércol mezclado con las camas de ganado lechero y desperdicios hortofrutícolas. Menciona que los valores elevados de CE. y pH (18.8 dSm^{-1} y 9.0 respectivamente) en el estiércol de ganado lechero inhibieron el crecimiento microbiano y retardaron más el proceso de compostaje. También reportan que la CE promedio de todos los materiales compostados se incremento 17% en promedio a lo largo del proceso como muestra en el cuadro 14, debido a que el agua ($\text{CE} = 3.9 \text{ dSm}^{-1}$, $\text{pH} = 8.1$), usada para mantener la humedad de los materiales, incremento los niveles de CE, y de acuerdo con Ayers y Westcot (1987) esta agua corresponde a una clasificación con limitación severa para uso agrícola. También mencionan que este factor inhibió el crecimiento de los microorganismos debido al fenómeno del plasmolisis mencionado (Brock *et al.*, 1987).

Cuadro. 14. Temperatura (T), pH, conductividad eléctrica (CE), de tres materiales orgánicos durante el compostado, a los 70, 100 y 130 días (Corlay *et al.*, 1999.)

Sustrato	70 días			100 días			130 días		
	T (°C)	pH	CE (dSm^{-1})	T (°C)	pH	CE (dSm^{-1})	T (°C)	pH	CE (dSm^{-1})
Paja	15.0	8.45	6.96	15.5	8.35	8.91	12.0	8.40	9.22
Estiércol	16.0	9.02	19.23	16.0	9.00	17.05	11.5	8.90	18.84
Desechos Hortofrutícolas	16.0	8.39	4.67	16.5	8.60	6.44	12.0	8.60	6.97
Temp.Ambiental (°C)	15.0			15.5			9.0		

Aguirre (1985), también observo una disminución en el número de bacterias, actinomicetos y hongos en el composteo de estiércol bovino, cuando la temperatura ambiental se redujo de 24 a 7 °C, el pH se elevo de 8.5 a 9.3 y

la CE aumento de 11 a 19 dSm^{-1} . Por su parte Corlay *et al.*, (1999) mencionan que las poblaciones microbianas disminuyen al incrementarse la CE y disminuir la temperatura.

La velocidad de producción de composta y vermicomposta puede acelerarse controlando la temperatura y el contenido de sales de los desechos orgánicos utilizados. La temperatura debe mantenerse alrededor de 20 °C y los materiales de desecho utilizados deben presentar bajo contenido de sales al inicio ($\text{CE} \leq 7 \text{ dSm}^{-1}$). Lo anterior permite reciclar con mayor velocidad y eficiencia los materiales de desecho cuya acumulación constituye un problema (Corlay *et al.*, 1999).

Inbar *et al.*,(1993), citan que la conductividad eléctrica de extractos acuosos, en su mayor compuestos de Ca^{++} , Mg^{++} y NO_3^- pueden ser indicativos de la estabilización de una composta. Pero Avnimelech *et al.*,(1996), mencionan que la evolución de la conductividad eléctrica en extractos acuosos puede ser difícil de interpretar ya que se debe dar explicación sobre el grado de complejidad de aniones y cationes con la materia orgánica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del trabajo

El experimento se realizo en las instalaciones de la Universidad Autonomía Agraria “Antonio Narro”(U.A.A.A.N.), ubicada en Buenavista, a 7 Km., al sur de Saltillo, Coahuila, situada geográficamente a 22° 22' latitud norte y longitud Oeste de 101° 00' y 1743 msnm.

Los residuos orgánicos utilizados fueron: estiércol de bovino lechero (20 días aproximadamente de haber sido deyectado), estiércol caprino (10 días), estiércol de ovino(10 días), estos fueron recolectados en los corrales del establo de la Universidad. El estiércol de bovino de carne (10 días) fue proporcionado por la empresa PROKARNE. Para cada residuo orgánico se utilizaron 5 bolsas de 50 Kg aproximadamente.

Metodología.

De cada residuo orgánico se hizo un montículo, se aplicó agua y volteos hasta humedecer completamente para no dejar partes sin humedad, para que el compostaje iniciara igual en todos los estiércoles. Las dimensiones de las pilas fueron, ancho = 1.40 m y la altura = 0.80 m aproximadamente .

Durante el proceso de precomposteo la humedad se mantuvo entre 40% y 65% mediante riegos, según lo recomendado por Kaplan *et al.*,(1980).

Factores evaluados

Temperatura

Está se midió con un termómetro para compostas de 19.5 pulgadas de longitud, marca REOTEMP, con un rango de 0 a 220 grados °F. Convirtiendo a grados centígrados. El termómetro se introdujo al montículo de cada uno de los estiércoles durante 5 minutos antes de tomar la lectura.

pH

Se midió con un potenciometro (HANNA instruments, 9024), a una relación sustrato:agua 1:5 (v/v).

Conductividad Eléctrica

Se midió con un conductivímetro (Orión, modelo 105), a una relación sustrato:agua 1:5 (v/v).

Cada uno de estos factores se midió cada tercer día, en cada uno de los montículos de los estiércoles, tomando tres muestras a profundidades de 15 cm (extremo oriente del montículo), 30 cm (extremo poniente del montículo) y 45 cm (centro del montículo) para medir pH y CE. La temperatura se midió de la misma manera. La profundidad se tomo de la superficie superior hacia abajo o al interior del montículo.

Muestra 1: tomada a 15 cm de profundidad en el extremo oriente de la pila = M1

Muestra 2: tomada a 45 cm de profundidad en el centro de la pila = M2

Muestra 3: tomada a 30 cm de profundidad en el extremo poniente de la pila = M3

A cada muestra se le cuantifico los siguientes factores:

1 = Temperatura

2 = pH

3 = Conductividad Eléctrica (CE)

Todos estos factores se midieron durante 35 días aproximadamente, hasta que la temperatura descendió y se empezó a estabilizar . Después de cada toma de muestras y de mediciones, se daban volteos a todos los montículos y se aplicaban riegos a los que lo necesitaban, para mantener la humedad de 40% a 65% aproximadamente. Al estiércol de bovino de carne se le aplico menor cantidad riegos durante su composteo, por el aspecto pegajoso, masoso y el exceso de humedad que presento. A el agua utilizada en este

experimento, también se le midió pH y CE, se tomaron tres muestras en diferentes abastecimientos del establo como se indica en el cuadro 15.

Cuadro. 15. Conductividad eléctrica y pH del agua de diferentes partes del establo lechero de la U.A.A.A.N.

Muestra de agua	pH	Conductividad Eléctrica
Área lombrícola	7.36	0.577 dSm ⁻¹
Área de cría de becerros	7.28	0.587 dSm ⁻¹
Área de ordeña	7.32	0.573 dSm ⁻¹

Todos los materiales se compostaron tal y como fueron recolectados, sin mezclar con ningún material, solo con los residuos de paja que contenían, como los estiércoles de cabra y borrega.

Métodos de Análisis

Para el análisis de los datos generados durante el experimento se utilizaron los métodos estadísticos de Correlación y Regresión Lineal Simple, para determinar las posibles relaciones que existen entre las variables evaluadas, el grado de asociación de la relaciones y conocer la naturaleza de las mismas.

Para el calculo de la Correlación y Regresión lineal se utilizo el Programa Estadístico de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León. (U.N.A.L) versión 2.5.

En el análisis estadístico se utilizaron los datos obtenidos de cada análisis durante todo el proceso de compostaje de los cuatro estiércoles.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En los cuadros 16 se muestra los resultados de las lecturas de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) y de cada análisis de pH, CE (dSm^{-1}) durante el compostaje de los cuatro estiércoles utilizados.

16 (a) Estiércol de bovino de carne			
T1	T2	T3	Media
15 cm	45 cm	30 cm	
39.76	38.08	39.76	39.20
40.88	35.84	36.4	37.71
25.76	23.52	25.76	25.01
21.28	24.08	23.52	22.96
32.48	32.48	32.48	32.48
38.64	40.32	37.52	38.83
38.08	38.44	38.08	38.20
33.6	42	37.52	37.71
26.08	32.48	31.36	29.97
26.32	29.68	24.08	26.69
17.36	17.36	17.36	17.36
16.24	16.8	15.68	16.24

16 (b) Estiércol de bovino lechero			
T1	T2	T3	Media
15 cm	45 cm	30 cm	
42.56	38.08	40.32	40.32
39.2	40.32	40.32	39.95
26.08	29.68	28	27.92
24.64	25.2	23.52	24.45
21.28	22.96	23.56	22.60
23.52	24.08	22.96	23.52
19.04	19.6	21.28	19.97
14.56	15.68	16.8	15.68
14	13.44	13.44	13.63
14	14.56	14	14.19
14.56	14	14	14.19
14	14.56	14	14.19

16 (c) Estiércol de cabra			
T1	T2	T3	Media
15 cm	45 cm	30 cm	
29.12	32.48	29.68	30.43
40.32	43.68	38.08	40.69
38.08	39.2	35.84	37.71
45.92	39.76	33.6	39.76
38.08	36.4	34.72	36.40
30.5	35.84	34.16	33.50
31.92	31.92	31.36	31.73
28.56	29.68	28.56	28.93
25.2	26.08	25.2	25.49
25.2	26.32	25.2	25.57
21.28	20.72	20.16	20.72
21.28	21.84	21.28	21.47

16 (d) Estiércol de borrega			
T1	T2	T3	Media
15 cm	45 cm	30 cm	
23.52	22.96	23.52	23.33
32.48	34.16	34.12	33.59
35.28	35.28	33.6	34.72
41.44	45.92	39.76	42.37
38.08	39.2	38.64	38.64
34.12	38.08	38.08	36.76
37.56	38.08	35.28	36.97
31.36	32.48	31.92	31.92
25.76	26.35	25.2	25.77
19.6	20.72	19.04	19.79
18.48	18.48	17.36	18.11
17.92	18.48	17.36	17.92

16 (e)		Estiércol de bovino de carne					
(dSm⁻¹)						Medias	
15 cm	45 cm	30 cm	15 cm	45 cm	30 cm	pH	CE
pH 1	pH 2	pH 3	CE1	CE2	CE3		
8.75	8.75	8.75	5.41	5.41	5.41	8.75	5.410
10.28	9.93	10.24	1.587	1.652	1.47	10.15	1.570
8.73	8.09	8.26	2.53	3.08	3.08	8.36	2.897
8.88	8.09	8.82	2.56	5.1	2.94	8.60	3.533
9.04	8.99	8.98	2.34	2.3	2.56	9.00	2.400
9.03	9.08	9.08	2.02	2.17	2.29	9.06	2.160
9.17	9.07	9.1	2.04	3.11	2.91	9.11	2.687
8.81	8.91	8.86	2.88	2.57	2.68	8.86	2.710
8.8	8.94	8.88	3.76	3.48	2.85	8.87	3.363
8.9	8.79	8.75	2.21	2.32	2.59	8.81	2.373
8.73	8.67	8.54	2.73	2.58	2.91	8.65	2.740

16(g)		Estiércol de borrega					
(dSm⁻¹)						Medias	
15 cm	45 cm	30 cm	15 cm	45 cm	30 cm	pH	CE
pH 1	pH 2	pH 3	CE1	CE2	CE3		
9.53	9.53	9.53	1.512	1.512	1.512	9.53	1.512
9.38	10.2	10.34	1.204	1.392	1.188	9.97	1.261
9.55	9.51	9.6	1.08	1.238	1.264	9.55	1.194
9.83	9.18	9.78	1.46	0.724	1.231	9.60	1.138
9.98	9.55	9.65	1.511	0.892	1.292	9.73	1.232
9.52	9.68	9.59	1.033	1.02	1.973	9.60	1.342
9.46	9.41	9.32	1.077	1.408	1.313	9.40	1.266
9.46	9.67	9.49	0.918	1.312	0.87	9.54	1.033
9.11	9.13	9.15	1.141	1.678	1.143	9.13	1.321
9.35	9.3	9.23	0.963	0.985	0.912	9.29	0.953
9.28	9.37	9.46	1.152	1.099	1.173	9.37	1.141

16 (f)		Estiércol de bovino lechero					
(dSm⁻¹)						Medias	
15 cm	45 cm	30 cm	15 cm	45 cm	30 cm	pH	CE
pH 1	pH 2	pH 3	CE1	CE2	CE3		
9.4	9.4	9.4	1.158	1.158	1.158	9.40	1.158
10.23	10.19	10.13	2.04	1.817	1.975	10.18	1.944
9.45	9.62	9.54	2.13	2.73	2.93	9.54	2.597
9.69	9.81	9.72	2.64	2.5	1.95	9.74	2.363
9.82	9.79	9.69	1.847	1.643	2.25	9.77	1.913
9.78	9.75	9.76	1.918	1.818	1.427	9.76	1.721
9.55	9.52	9.6	1.338	1.768	2.02	9.56	1.709
9.72	9.78	9.8	1.378	1.604	1.978	9.77	1.653
9.51	9.21	9.29	1.764	2.39	1.944	9.34	2.033
9.4	9.35	9.3	1.525	1.265	1.256	9.35	1.349
9.45	9.42	9.43	1.53	1.743	1.519	9.43	1.597

16 (h)		Estiércol de cabra					
(dSm⁻¹)						Medias	
15 cm	45 cm	30 cm	15 cm	45 cm	30 cm	pH	CE
pH 1	pH 2	pH 3	CE1	CE2	CE3		
9.61	9.61	9.6	1.548	1.548	1.548	9.61	1.548
9.5	9.47	9.49	0.634	1.131	1.496	9.49	1.087
9.63	9.47	9.62	1.377	1.247	1.288	9.57	1.304
9.7	9.8	9.83	1.311	1.35	1.604	9.78	1.422
9.93	9.81	9.67	1.482	1.563	1.806	9.80	1.617
9.48	9.76	9.76	0.65	1.236	1.223	9.67	1.036
9.54	9.49	9.46	1.558	1.609	1.236	9.50	1.468
9.49	9.66	9.74	0.968	1.217	1.61	9.63	1.265
9.32	9.12	9.22	0.908	1.776	1.906	9.22	1.530
9.4	9.45	9.41	0.895	1.069	1.001	9.42	0.988
9.37	9.44	9.43	1.081	1.224	1.18	9.41	1.162

La temperatura máxima en el compostaje de estos materiales fue de 45.92 °C registrada en los estiércoles de cabra y borrega, en los estiércoles de bovino lechero y de bovino carne las temperaturas más altas fueron de 42 y 42.56 respectivamente, esto indica que todos los materiales alcanzaron la fase termófila (40 – 60 ° C) según (Monroy y Viniegra, 1981), pero por poco tiempo, 4 días máximo, como se muestra en los cuadros 16 (a, b, c, d).

El comportamiento del pH en el compostado de estos estiércoles fue el mismo debido a que ninguno descendió a niveles ácidos, ya que todos iniciaron el proceso de compostaje con pH superiores a 8, algunos alcanzaron niveles de pH por encima 10 a los 7 días de compostaje, cómo los estiércoles de bovino de engorda, bovino lechero y el estiércol de borrega, a excepción del estiércol de cabra, después el pH se mantuvo en un rango de 8 a 10. Al final del proceso de compostaje el estiércol de bovino de carne termino en un rango de pH entre 8.50 - 8.75, los demás estiércoles terminaron con un rango de pH entre 9.0 – 9.50 como se muestra en los cuadros 16 e, f, g, h.

El comportamiento de la conductividad eléctrica (CE) durante el compostaje del estiércol de bovino de carne inicio con valores de 5.41 dSm⁻¹, esta disminuyo a los 7 días a valores menores de 2 dSm⁻¹, se incremento hasta 5.1 dSm⁻¹ y después se mantuvo sin superar los 3 dSm⁻¹, la CE disminuyo con el proceso de compostaje como se indica en el cuadro 16 (e).

En el compostaje del estiércol de bovino lechero, los valores iniciales de CE fueron de 1.158 dSm⁻¹, del día 7 al 13 se incrementaron hasta alcanzar valores de 2.93 dSm⁻¹, después estos disminuyeron através del proceso de compostaje. Los valores finales de CE fueron superiores a los iniciales, la

conductividad eléctrica se incremento con el compostaje como se indica en el cuadro 16 (f).

El estiércol de borrega inicio el compostaje con valores de 1.512 dSm^{-1} de CE, después estos valores disminuyeron y se incrementaron através del proceso de compostaje en un rango de 1.973 dSm^{-1} al valor más alto de CE registrado y 0.870 dSm^{-1} el valor más bajo, en este estiércol el compostaje termino con valores menores a los iniciales, la CE disminuyo con el compostaje, como se indica en el cuadro 16 (g).

En el compostaje del estiércol de cabra la CE tuvo un comportamiento similar a la del estiércol de borrega, debido a que esta inicio con valores de CE de 1.548 dSm^{-1} , la CE disminuyo durante los 15 días de compostaje, pero se incremento apartir del día 16 alcanzando valores de 1.806 dSm^{-1} . Los valores de CE finales fueron inferiores a los iniciales, lo que quiere decir que la CE disminuyo con el proceso de compostaje, como se muestra en el cuadro 16(h).

Cuadro. 17. Datos de temperatura ($^{\circ}\text{C}$), pH y CE (dSm^{-1}) de cada profundidad de muestreo durante el compostaje del estiércol de bovino de carne.

Días de compostado	Análisis	M1			M2			M3		
		Profundidad 15 cm Extremo oriente			Profundidad 45 cm Centro			Profundidad 30 cm Extremo poniente		
		T = 1	pH = 2	CE = 3	T = 1	pH = 2	CE = 3	T = 1	pH = 2	CE = 3
4	1	39.76	8.75	5.410	38.08	8.75	5.410	39.76	8.75	5.410
7	2	40.88	10.28	1.587	35.84	9.93	1.652	36.4	10.24	1.470
10	3	25.76	8.73	2.530	23.52	8.09	3.080	25.76	8.26	3.080
13	4	21.28	8.88	2.560	24.08	8.09	5.100	23.52	8.82	2.940
16	5	32.48	9.04	2.340	32.48	8.99	2.300	32.48	8.98	2.560
19	6	38.64	9.03	2.020	40.32	9.08	2.170	37.52	9.08	2.290
22	7	38.08	9.17	2.040	38.44	9.07	3.110	38.08	9.10	2.910
25	8	33.6	8.81	2.880	42	8.91	2.570	37.52	8.86	2.680
28	9	26.08	8.80	3.760	32.48	8.94	3.480	31.36	8.88	2.850
31	10	26.32	8.90	2.210	29.68	8.79	2.320	24.08	8.75	2.590

Cuadro. 18. Resultado de las correlaciones entre los datos de temperatura, pH y CE de cada profundidad de muestreo en el estiércol de bovino de carne.

M1	M2	M3
$r(1,2) = 0.5367$ NS	$r(1,2) = 0.5813$ NS	$r(1,2) = 0.4900$ NS
$r(1,3) = 0.0836$ NS	$r(1,3) = -0.1160$ NS	$r(1,3) = 0.1229$ NS
$r(2,3) = -0.4938$ NS	$r(2,3) = -0.5837$ NS	$r(2,3) = -0.5287$ NS

En el cuadro 18 se observa que ninguna de las correlaciones entre los datos de temperatura, pH y CE son significativas en todas las muestras, pero se aprecia que las correlaciones entre temperatura y pH de las muestras 1 y 2 son positivas y tienen un valor mayor de 0.5, esto sugiere que a medida que aumentaba o disminuía una variable la otra tenía el mismo comportamiento, esta tendencia se puede observar en las figuras 8 y 9.

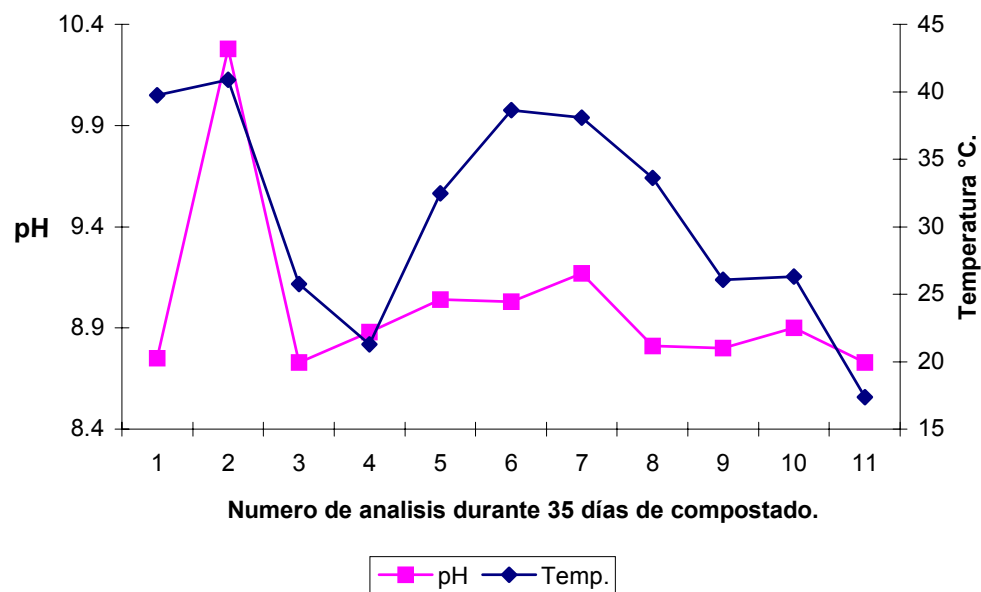


Figura. 8. Comportamiento de la temperatura y pH a 15 cm de profundidad en el extremo oriente de la pila del estiércol de bovino de carne.

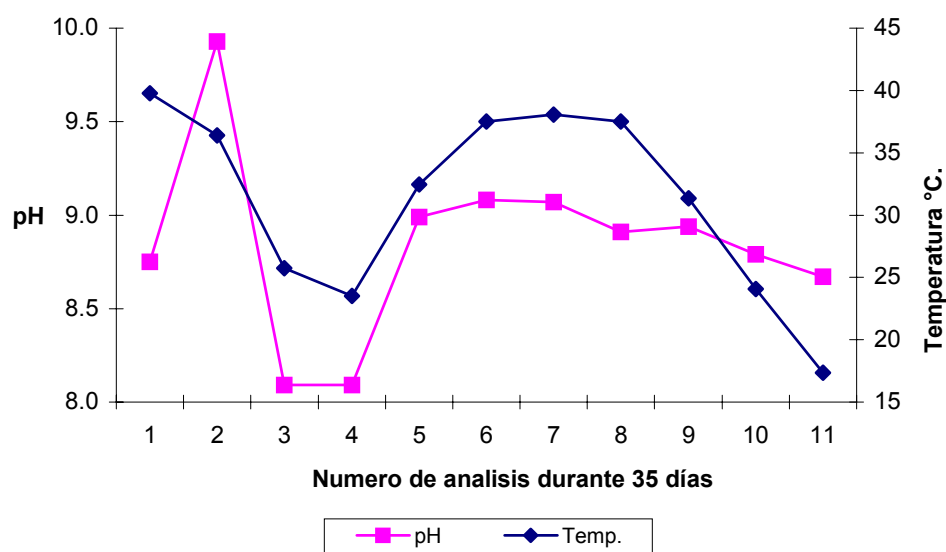


Figura. 9. Comportamiento de temperatura y pH a 45 cm de profundidad en el centro de la pila del estiércol de bovino de carne.

En las figuras 8 y 9 se observa que entre el 3er y 4to análisis estas dos variables presentaron un descenso pero se incrementaron y tuvieron un comportamiento similar hasta el último análisis. No se aplicó el método de regresión lineal para determinar que variable afectaba más a otra por los resultados no significativos obtenidos de las correlaciones.

En el caso de las correlaciones entre temperatura y CE, se obtuvieron resultados menores de 0.5 en todas las muestras, esto quiere decir que existió poca relación entre estas dos variables y que fueron independientes una de otra durante el compostaje de este estiércol.

En las correlaciones de pH y CE se obtuvieron valores negativos mayores de 0.5 en las muestras tomadas a 45 y 30 cm de profundidad. Esto indica que a medida que una variable aumentaba la otra tenía un comportamiento opuesto, como se aprecia en las figuras 10 y 11.

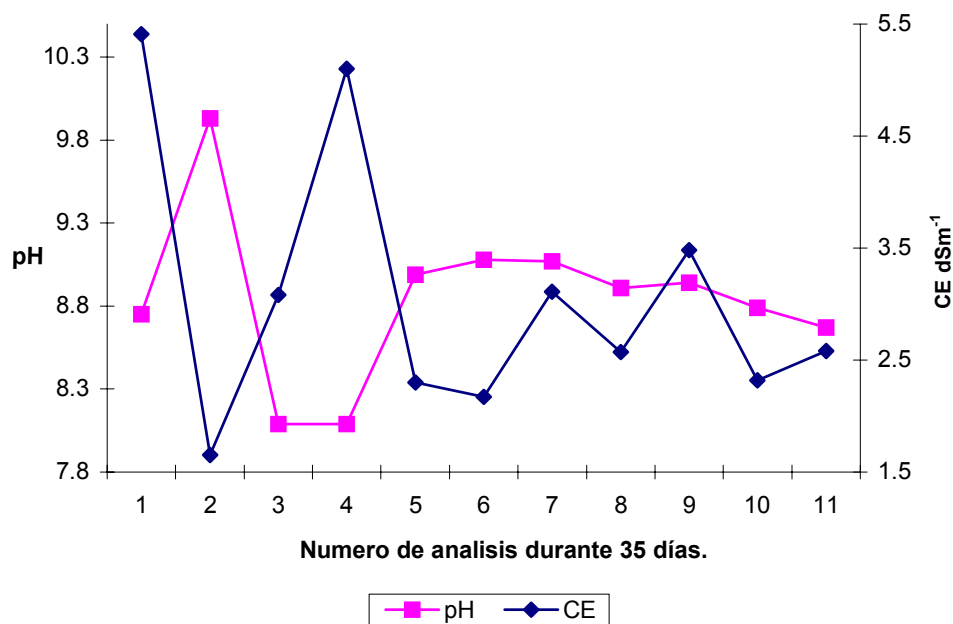


Figura. 10. Comportamiento de pH y CE a 45 cm de profundidad en el centro de la pila del estiércol de bovino de carne.

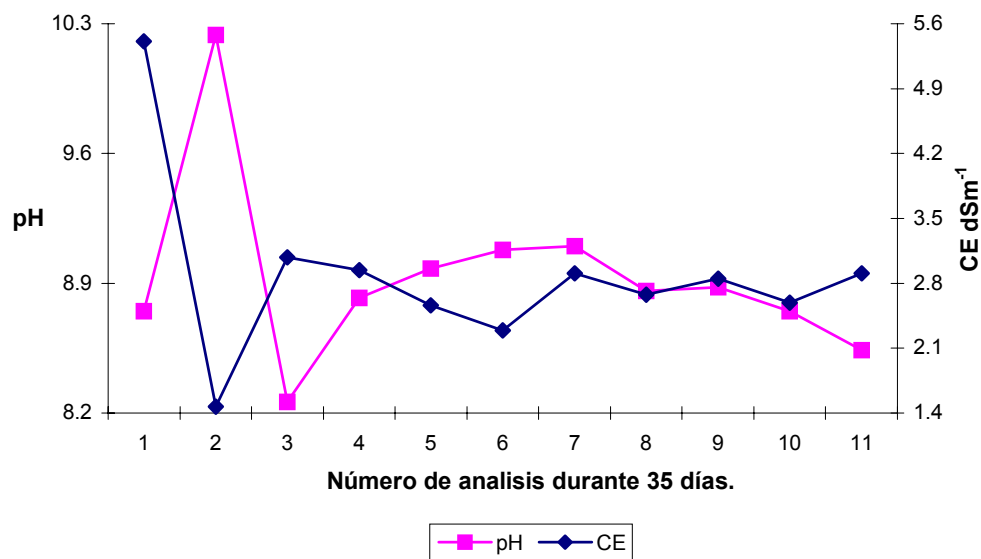


Figura. 11. Comportamiento de pH y CE a 30 cm de profundidad en el extremo oriente de la pila del estiércol de bovino de carne.

Esta relación negativa se pudo haber presentado debido a que la temperatura tuvo la misma tendencia que el pH y también por que los valores de correlación entre temperatura y CE fueron muy bajos.

Cuadro. 19. Datos de temperatura ($^{\circ}\text{C}$), pH, y CE (dSm^{-1}) de cada profundidad de muestreo durante el compostaje del estiércol de bovino lechero.

Días de Compostado	Análisis	M1			M2			M3		
		Profundidad 15 cm			Profundidad 45 cm			Profundidad 30 cm		
		Extremo oriente			Centro			Extremo poniente		
		T = 1	pH = 2	CE = 3	T = 1	pH = 2	CE = 3	T = 1	pH = 2	CE = 3
4	1	42.56	9.4	1.158	38.08	9.4	1.158	39.76	9.4	1.158
7	2	39.2	10.23	2.040	40.32	10.19	1.817	36.4	10.13	1.975
10	3	26.08	9.45	2.130	29.68	9.62	2.730	25.76	9.54	2.930
13	4	24.64	9.69	2.640	25.2	9.81	2.500	23.52	9.72	1.950
16	5	21.28	9.82	1.847	22.96	9.79	1.643	32.48	9.69	2.250
19	6	23.52	9.78	1.918	24.08	9.75	1.818	37.52	9.76	1.427
22	7	19.04	9.55	1.338	19.6	9.52	1.768	38.08	9.6	2.020
25	8	14.56	9.72	1.378	15.68	9.78	1.604	37.52	9.8	1.978
28	9	14	9.51	1.764	13.44	9.21	2.390	31.36	9.29	1.944
31	10	14	9.4	1.525	14.56	9.35	1.265	24.08	9.3	1.256
34	11	14.56	9.45	1.530	14	9.42	1.743	17.36	9.43	1.519

Cuadro. 20. Resultados de las correlaciones entre los datos de temperatura, pH y CE de cada profundidad de muestreo en el estiércol de bovino lechero.

M1	M2	M3
$r(1,2) = 0.3541$ NS	$r(1,2) = 0.5470$ NS	$r(1,2) = 0.3882$ NS
$r(1,3) = 0.0994$ NS	$r(1,3) = -0.0260$ NS	$r(1,3) = -0.0971$ NS
$r(2,3) = 0.4028$ NS	$r(2,3) = 0.1058$ NS	$r(2,3) = 0.2787$ NS

Los resultados de las correlaciones fueron no significativos en todas las muestras y solo se obtuvo un resultado mayor de 0.5 a una profundidad de 45 cm en la muestra 2 entre las variables de temperatura y pH, este indica que las dos variables presentaron una tendencia descendente a partir del segundo muestreo, como se indica en la figura 12.

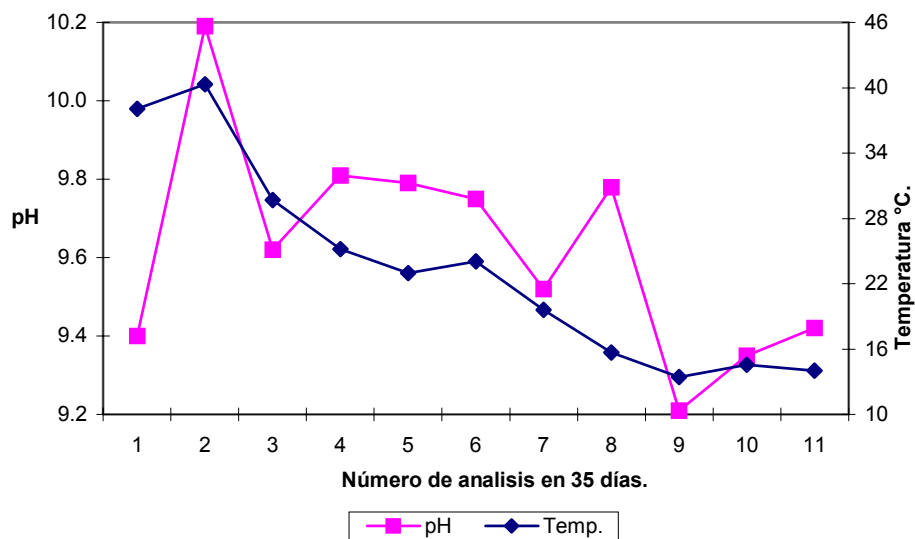


Figura. 12. Comportamiento de temperatura y pH a 45 cm de profundidad en el centro de la pila del estiércol de bovino lechero.

Se prescindió del análisis de regresión debido a que la correlación fue no significativa entre estas dos variables. En las interacciones de pH:CE y Temperatura:CE los resultados de las correlaciones fueron muy bajos por lo que se deduce que no existió relación, y por lo tanto la CE tuvo un comportamiento diferente al pH y la temperatura durante el compostaje de este estiércol.

Cuadro. 21. Datos de temperatura ($^{\circ}\text{C}$), pH y CE (dSm^{-1}) de cada profundidad de muestreo durante el compostaje del estiércol de borrega.

Días de Compostado	Análisis	M1			M2			M3		
		Profundidad 15 cm			Profundidad 45 cm			Profundidad 30 cm		
		Extremo oriente			Centro			Extremo poniente		
		T = 1	pH = 2	CE = 3	T = 1	pH = 2	CE = 3	T = 1	pH = 2	CE = 3
4	1	29.12	9.53	1.512	32.48	9.53	1.512	29.68	9.53	1.512
7	2	40.32	9.38	1.204	43.68	10.2	1.392	38.08	10.34	1.188
10	3	38.08	9.55	1.08	39.2	9.51	1.238	35.84	9.6	1.264
13	4	45.92	9.83	1.46	39.76	9.18	0.724	33.6	9.78	1.231
16	5	38.08	9.98	1.511	36.4	9.55	0.892	34.72	9.65	1.292
19	6	30.5	9.52	1.033	35.84	9.68	1.02	34.16	9.59	1.973
31	7	31.92	9.46	1.077	31.92	9.41	1.408	31.36	9.32	1.313
25	8	28.56	9.46	0.918	29.68	9.67	1.312	28.56	9.49	0.87
28	9	25.2	9.11	1.141	26.08	9.13	1.678	25.2	9.15	1.143
31	10	25.2	9.35	0.963	26.32	9.3	0.985	25.2	9.23	0.912
34	11	21.28	9.28	1.152	20.72	9.37	1.099	20.16	9.46	1.173

Cuadro. 22. Resultados de las correlaciones entre los datos de temperatura, pH y CE de cada profundidad de muestreo en el estiércol de borrega.

M1	M2	M3
$r(1,2) = 0.7087 *$	$r(1,2) = 0.5488 \text{ NS}$	$r(1,2) = 0.4832 \text{ NS}$
$r(1,3) = 0.4759 \text{ NS}$	$r(1,3) = -0.1883 \text{ NS}$	$r(1,3) = 0.3146 \text{ NS}$
$r(2,3) = 0.6272 *$	$r(2,3) = 0.1427 \text{ NS}$	$r(2,3) = 0.1487 \text{ NS}$

NS = Correlación no significativa al nivel de 0.05

* = Correlación significativa al nivel de 0.05

** = Correlación significativa al nivel de 0.01

En este estiércol se obtuvieron valores significativos de correlación en la muestra 1 entre Temperatura:pH y CE:pH a una profundidad de 15 cm. En el caso de la relación Temperatura y pH se deduce que su comportamiento fue el mismo durante el proceso de compostaje como se muestra en la figura 13.

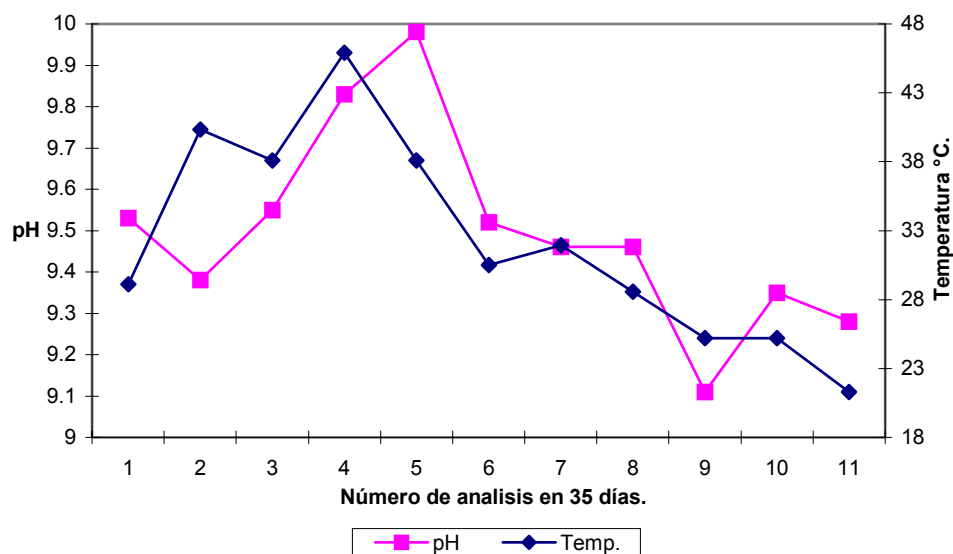


Figura. 13. Comportamiento de temperatura y pH a 15 cm de profundidad en el extremo oriente de la pila del estiércol de borrega.

Se realizó el análisis de regresión para determinar que variable influyo más sobre otra y determinar la variable independiente de acuerdo con la ecuación de la recta:

$$y = a + b(x)$$

x = variable independiente

y = variable dependiente

1) $T = -177.448944 + 22.078682 (\text{pH})$

2) $\text{pH} = 8.762968 + 0.022749 (T)$

La primera ecuación de regresión indica que $b = 22.078682$ es el cambio de y respecto a un cambio unitario de x , esta ecuación demuestra mayor efecto del pH sobre la temperatura. La segunda ecuación de regresión indica que $b = 0.022749$ es el cambio de y respecto a un cambio unitario de x , tomando en cuenta los valores de b se puede decir que la variable independiente fue pH y la dependiente fue la temperatura. Para confirmar esta deducción se utilizó la ecuación de regresión para determinar el incremento o decremento de pH y temperatura, se utilizaron los datos de cada análisis de la siguiente manera:

$$1) y = -177.448944 + 22.078682 (9.53) \quad y = 32.96$$

$$2) y = 8.762968 + 0.022749 (29.12) \quad y = 9.42$$

Este procedimiento se utilizó con los demás datos de pH y Temperatura como se indica en el cuadro 23.

Cuadro. 23. Resultados de pH y temperatura ($^{\circ}\text{C}$) obtenidos mediante la ecuación de regresión obtenida de los datos de la muestra 1 extraída a 15 cm de profundidad.

No. Análisis	$\overline{Y_i}$ Temperatura	pH	$\hat{}$ Temperatura	$\hat{}$ pH
1	29.12	9.53	32.96	9.42
2	40.32	9.38	29.64	9.68
3	38.08	9.55	33.40	9.62
4	45.92	9.83	39.58	9.80
5	38.08	9.98	42.89	9.62
6	30.5	9.52	32.74	9.45
7	31.92	9.46	31.41	9.48
8	28.56	9.46	31.41	9.41
9	25.2	9.11	23.68	9.33
10	25.2	9.35	28.98	9.33
11	21.8	9.28	27.44	9.25

Como se puede apreciar en el cuadro 23, el pH afecto más a la temperatura ya que en los datos mostrados mediante la ecuación de regresión la temperatura vario hasta 10 °C como en el caso de la temperatura obtenida mediante la ecuación de regresión utilizando el pH sacado en el segundo análisis. La temperatura afecto al pH en menor proporción y este no vario más de 0.3 unidades como se puede observar en el dato del análisis No. 3. Con estos resultados se puede decir que la variable independiente fue el pH y la dependiente fue la temperatura durante el compostaje de este estiércol como se muestra en la figura 14. Esta afirmación tiene cierta coincidencia con lo reportado por Stentiford (1996) y Golueke (1997) en donde describen que el incremento de temperatura en el compostaje de materiales orgánicos es provocado por la actividad microbiana y que a su vez esta es afectada por el pH.

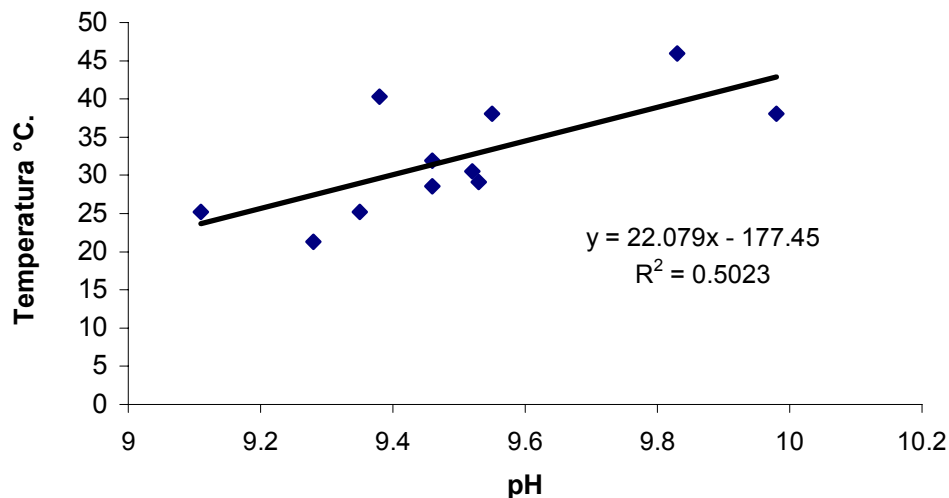


Figura. 14. Regresión lineal entre los datos de pH y temperatura tomados a 15 cm de profundidad en el extremo oriente de la pila del estiércol de borrega.

Interpretando la ecuación de regresión de la figura 14 se puede decir que al cambiar el pH una unidad, la temperatura cambiaba 22.07 °C. Como el rango de variación de pH fue de 0.87 y la temperatura fue de 24.64 °C entre sus

valores máximo y mínimo, se puede deducir que el pH afecto en menor proporción a la temperatura debido a que su variación no superó la unidad.

Cuadro. 24. Análisis de varianza de la regresión lineal entre los datos de temperatura y pH, obtenidos a una profundidad de 15 cm en el extremo oriente de la pila del estiércol de borrega.

FV	G. L.	S. C.	CM	FC	F α	
					0.05	0.01
Regresión	1	284.424412	284.424412	9.0823*	5.12	10.56
Residual	9	281.847951	31.316439			
Total	10	566.272364				

Coefficiente de determinación = 0.5023

Se puede decir con un 95 % de confiabilidad que la temperatura fue afectada por el pH, si este aumentaba o disminuía la temperatura tuvo el mismo comportamiento durante el compostaje de este estiércol.

En la correlación significativa de CE y pH también se aplicó el mismo procedimiento utilizado anteriormente para determinar la variable independiente y los resultados obtenidos de pH y CE utilizando la ecuación de regresión se muestran en el cuadro 25.

$$\text{pH} = 8.669408 + 0.696231(\text{CE})$$

$$\text{CE} = -4.009238 + 0.547177 (\text{pH})$$

Cuadro. 25. Resultados de pH y CE (dSm^{-1}) obtenidos mediante la ecuación de regresión de los datos de la muestra 1 extraída a 30 cm de profundidad.

No Análisis	Yi pH	CE	$\hat{\text{pH}}$	$\hat{\text{CE}}$
1	9.53	1.512	9.72	1.205
2	9.38	1.204	9.50	1.123
3	9.55	1.08	9.42	1.216
4	9.83	1.46	9.68	1.369
5	9.98	1.511	9.72	1.451
6	9.52	1.033	9.38	1.199
7	9.46	1.077	9.41	1.167
8	9.46	0.918	9.30	1.167
9	9.11	1.141	9.46	0.975
10	9.35	0.963	9.33	1.106
11	9.28	1.152	9.47	1.068

Como se puede apreciar en el cuadro 25 la CE afecto más al pH, ya que los resultados de CE y pH no variaron mucho, con esto se puede decir que la variable independiente fue la CE en el compostaje de este estiércol, como se indica en la figura 15.

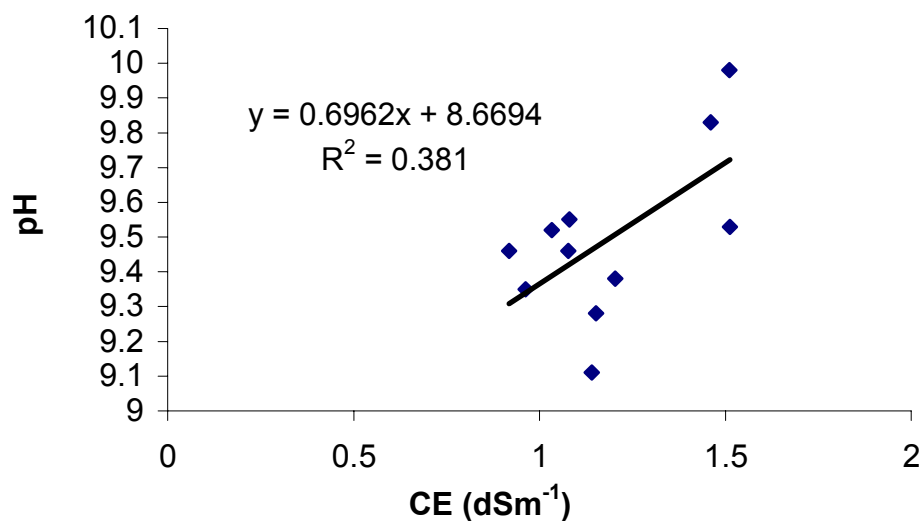


Figura. 15. Regresión lineal entre los datos de CE y pH tomados a 15 cm de profundidad en el extremo oriente de la pila del estiércol de borrega.

La ecuación de regresión de la figura 15 indica que el pH fue la variable dependiente y su concentración se modificó 0.69623 por cada cambio unitario de la variable independiente, que fue CE. En la figura 16 se puede apreciar el comportamiento de estas variables.

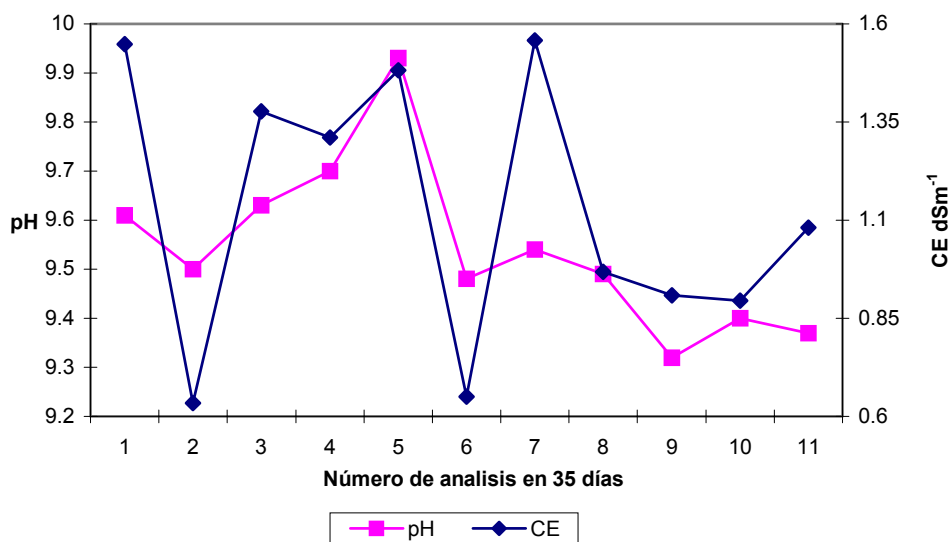


Figura. 16. Comportamiento de pH y CE a 15 cm de profundidad en el extremo oriente de la pila del estiércol de borrega.

La variación del pH fue de 0.87 y la CE tuvo una variación de 0.594 dSm⁻¹ entre el valor máximo y mínimo durante el proceso de compostaje.

Cuadro. 26. Análisis de varianza de la regresión lineal entre los datos de pH y CE obtenidos a 15 de profundidad en el extremo oriente de la pila del estiércol de borrega.

FV	G. L.	S. C.	CM	FC	F _α	
					0.05	0.01
Regresión	1	0.222281	0.222281	5.5387*	5.12	10.56
Residual	9	0.361192	0.040132			
Total	10	0.583473				

Coefficiente de determinación = 0.3810

Se puede decir con un 95 % de confiabilidad que el pH fue afectado por el comportamiento de la conductividad eléctrica durante el proceso de compostaje a una profundidad de 15 cm (M1) en el estiércol de borrega.

En la muestra numero 2 (15 cm de profundidad) se tuvo una correlación mayor de 0.5, esto indico que existe una relación positiva entre el pH y la temperatura, siendo el comportamiento de ambas muy similar a partir del quinto muestreo como se observa en la figura 17, más no se puede afirmar que variable afecto más a otra, porque no se realizo el análisis de regresión dado que la correlación fue no significativa.

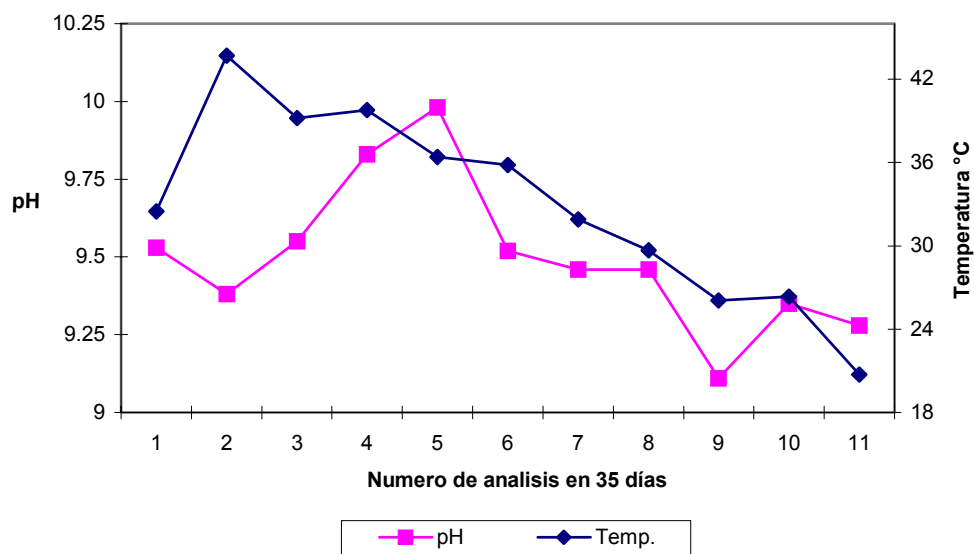


Figura. 17. Comportamiento de pH y temperatura a 45 cm de profundidad en el centro de la pila del estiércol de borrega.

Respecto a la relación entre las variables de temperatura y CE en todas las muestras los valores de correlación son muy bajos, sugiriendo que la CE fue independiente de la temperatura.

Cuadro. 27. Datos de temperatura ($^{\circ}\text{C}$), pH y CE (dSm^{-1}) de cada profundidad de muestreo durante el compostaje del estiércol de cabra.

Días de Compostado	Análisis	M1 Profundidad 15 cm Extremo oriente			M2 Profundidad 45 cm Centro			M3 Profundidad 30 cm Extremo poniente		
		T = 1	pH = 2	CE = 3	T = 1	pH = 2	CE = 3	T = 1	pH = 2	CE = 3
		4	1	23.52	9.61	1.548	22.96	9.61	1.548	23.52
7	2	32.48	9.5	0.634	34.16	9.47	1.131	34.12	9.49	1.496
10	3	35.28	9.63	1.377	35.28	9.47	1.247	33.6	9.62	1.288
13	4	41.44	9.7	1.311	45.92	9.8	1.350	39.76	9.83	1.604
16	5	38.08	9.93	1.482	39.2	9.81	1.563	38.64	9.67	1.806
19	6	34.12	9.48	0.650	38.08	9.76	1.236	38.08	9.76	1.223
22	7	37.56	9.54	1.558	38.08	9.49	1.609	35.28	9.46	1.236
25	8	31.36	9.49	0.968	32.48	9.66	1.217	31.92	9.74	1.610
28	9	25.76	9.32	0.908	26.35	9.12	1.776	25.2	9.22	1.906
31	10	19.6	9.4	0.895	20.72	9.45	1.069	19.04	9.41	1.001
34	11	18.48	9.37	1.081	18.48	9.44	1.224	17.36	9.43	1.180

Cuadro. 28. Resultados de las correlaciones entre los datos temperatura, pH y CE de cada profundidad de muestreo en el estiércol de cabra.

M1	M2	M3
$r(1,2) = 0.6690 *$	$r(1,2) = 0.5864 \text{ NS}$	$r(1,2) = 0.6516 *$
$r(1,3) = 0.2726 \text{ NS}$	$r(1,3) = 0.1122 \text{ NS}$	$r(1,3) = 0.3142 \text{ NS}$
$r(2,3) = 0.6165 *$	$r(2,3) = -0.2223 \text{ NS}$	$r(2,3) = 0.04292 \text{ NS}$

NS = Correlación no significativa al nivel de 0.05

* = Correlación significativa al nivel de 0.05

** = Correlación significativa al nivel de 0.01

En este estiércol se presentaron tres correlaciones significativas. La primera correlación significativa fue entre pH y temperatura de la M1 extraída a

15 cm de profundidad, el comportamiento de ambas variables fue el mismo dado que la correlación es positiva, como se aprecia en la figura 18.

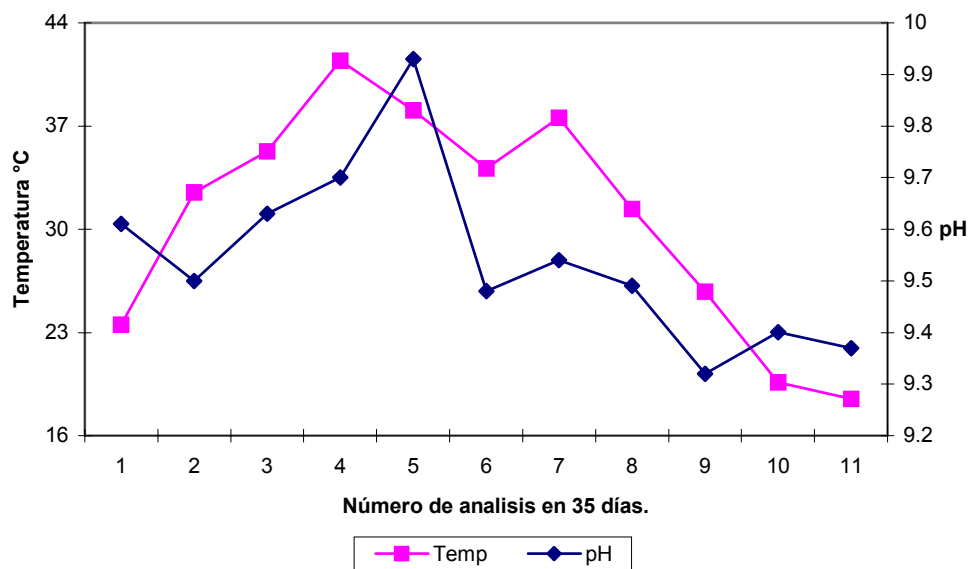


Figura. 18. Comportamiento de pH y temperatura a 15 cm de profundidad en el extremo oriente de la pila del estiércol de cabra.

Para determinar la variable independiente se utilizó el mismo procedimiento aplicado en el estiércol de borrega y en el cuadro 29 se muestran los resultados de pH y temperatura obtenidos mediante la ecuación de regresión.

$$T = -257.474903 + 30.198189 (\text{pH})$$

$$\text{pH} = 9.087846 + 0.014881 (T)$$

Cuadro. 29. Resultados de pH y temperatura (°C) obtenidos mediante la ecuación de regresión de los datos de la muestra 1 extraída a 15 cm de profundidad.

No Análisis	Yi Temp	pH	^ Temp	^ pH
1	23.52	9.61	32.72	9.43
2	32.48	9.5	29.40	9.56
3	35.28	9.63	33.33	9.61
4	41.44	9.7	35.44	9.70
5	38.08	9.93	42.39	9.65
6	34.12	9.48	28.80	9.59
7	37.56	9.54	30.61	9.64
8	31.36	9.49	29.10	9.55
9	25.76	9.32	23.97	9.46
10	19.6	9.4	26.38	9.37
11	18.48	9.37	25.48	9.36

Como se aprecia en el cuadro 29 el pH afecto más a la temperatura, ya que está modificado al pH muy poco, menos de 0.5 unidades, con esto podemos decir que la variable independiente fue el pH, como se muestra en la figura 19.

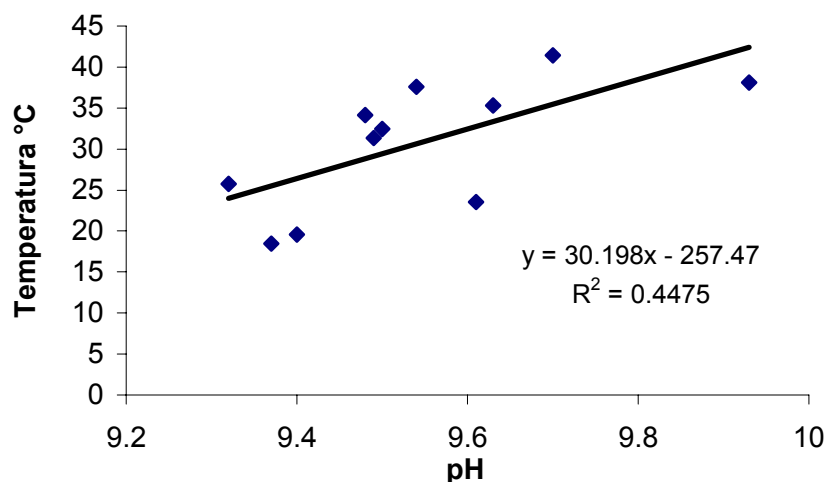


Figura. 19. Regresión lineal entre los datos de pH y temperatura tomados a 15 cm de profundidad en el extremo oriente de la pila de estiércol de cabra.

La ecuación de la figura 19 indica que por cada incremento unitario en la concentración del pH la temperatura se elevaba o disminuía 30.198180 °C. La variación de la temperatura fue de 22.96 °C entre los valores máximo y mínimo, en el pH la variación fue de 0.61, esto indica que la temperatura fue afectada sin superar su rango de variación debido a que la variación del pH es menor de la unidad.

Cuadro. 30. Análisis de varianza de la regresión lineal entre los datos de temperatura y pH obtenidos a 15 cm de profundidad en el extremo oriente de la pila del estiércol de cabra.

FV	G. L.	S. C.	CM	FC	F _α	
					0.05	0.01
Regresión	1	269.218505	269.218505	7.2888*	5.12	10.56
Residual	9	332.424259	36.936029			
Total	10	601.64274				

Coefficiente de determinación = 0.4475

Se puede afirmar con un 95 % de confiabilidad que el pH afecto en 30.198189 °C la temperatura, por cada cambio unitario de concentración que este presente.

En el caso de la correlación significativa entre la CE y el pH en el cuadro 31 se muestra los resultados de estas variables obtenidos mediante la ecuación de regresión.

$$\text{pH} = 9.195599 + 0.307638 (\text{CE})$$

$$\text{CE} = -10.656731 + 1.234982 (\text{pH})$$

Cuadro. 31. Resultados de pH y CE (dSm^{-1}) obtenidos mediante la ecuación de regresión de los datos de la muestra 1 extraída a 30 cm de profundidad.

No Análisis	Yi pH	CE	$\hat{\text{pH}}$	$\hat{\text{CE}}$
1	9.61	1.548	9.67	1.211
2	9.5	0.634	9.39	1.075
3	9.63	1.377	9.61	1.236
4	9.7	1.311	9.59	1.322
5	9.93	1.482	9.65	1.606
6	9.48	0.65	9.39	1.050
7	9.54	1.558	9.67	1.124
8	9.49	0.968	9.49	1.063
9	9.32	0.908	9.47	0.853
10	9.4	0.895	9.47	0.952
11	9.37	1.081	9.52	0.915

Con los resultados obtenidos mediante la ecuación de regresión se puede decir que la variable independiente fue la CE como se muestra en la figura 20.

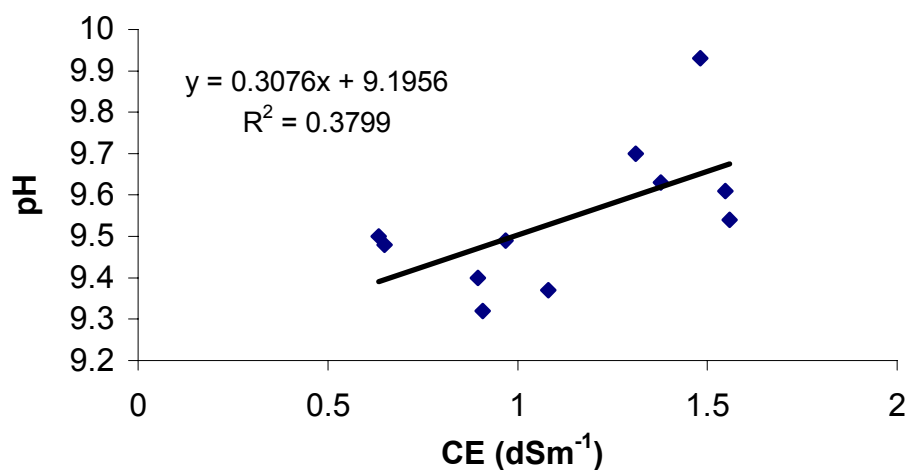


Figura. 20. Regresión lineal entre los datos de CE y pH tomados a 15 cm de profundidad en el extremo oriente de la pila del estiércol de borrega.

La ecuación de la figura 20 indica que por cada incremento o descenso unitario de la CE el pH fue afectado 0.307638 en su concentración. El rango de variación de la CE fue de 0.924 dSm^{-1} y el de pH fue de 0.61 entre el valor máximo y mínimo, el comportamiento de estas dos variables se muestra en la figura 21.

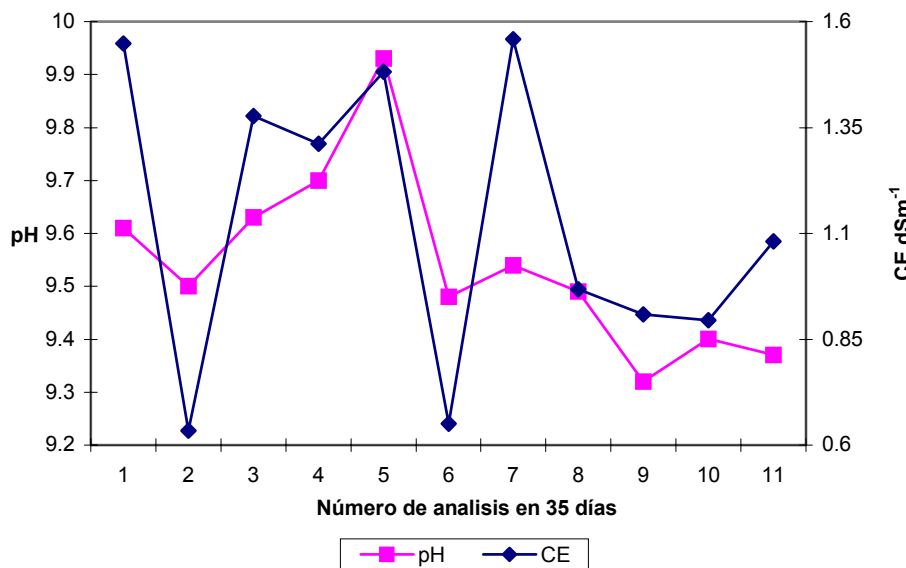


Figura. 21. Comportamiento de pH y CE a 15 cm de profundidad en el extremo oriente de la pila del estiércol de cabra.

Cuadro. 32. Análisis de varianza de la regresión de los datos de pH y CE obtenidos a 15 cm de profundidad en el extremo oriente de la pila del estiércol de cabra.

FV	G. L.	S. C.	CM	FC	F_{α}	
					0.05	0.01
Regresión	1	0.112162	0.112162	5.5144*	5.12	10.56
Residual	9	0.183057	0.020340			
Total	10	0.295218				

Coefficiente de determinación = 0.3799

Se puede afirmar con un 95 % de confiabilidad que la CE afecto el comportamiento del pH cuando esta disminuyo o aumento $1dSm^{-1}$.

La correlación significativa entre el pH y la temperatura en la muestra 3, a una profundidad de 30 cm fue positiva, de manera que el comportamiento de estas dos variables fue el mismo, a medida que una descendía o se incrementaba la otra variable lo hacia también como se indica en la figura 22.

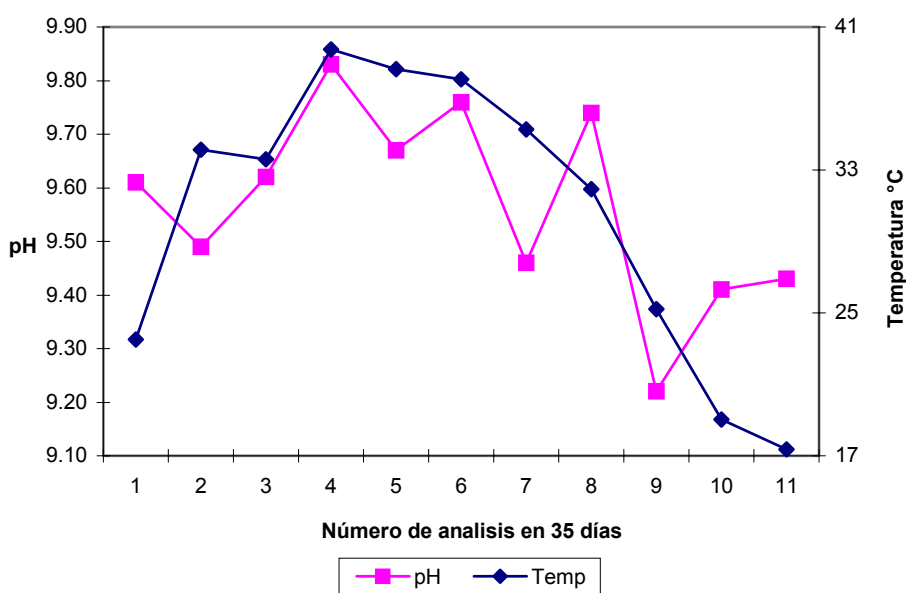


Figura. 22. Comportamiento de pH y temperatura a 30 cm de profundidad en el extremo poniente de la pila del estiércol de cabra.

En el cuadro 33 se muestra los resultados de temperatura y pH obtenidos mediante la ecuación de regresión.

$$T = -242.340840 + 28.527834 (\text{pH})$$

$$\text{pH} = 9.111820 + 0.014888 (T)$$

Cuadro. 33. Resultados de pH y temperatura (°C) obtenidos mediante la ecuación de regresión de los datos de la muestra 1 extraída a 30 cm de profundidad.

Análisis	$\frac{Y_i}{\text{Temp}}$	pH	$\hat{\text{Temp}}$	$\hat{\text{pH}}$
1	23.52	9.6	31.81	9.46
2	34.12	9.49	28.38	9.61
3	33.6	9.62	32.09	9.61
4	39.76	9.83	38.08	9.70
5	38.64	9.67	33.52	9.68
6	38.08	9.76	36.09	9.67
7	35.28	9.46	27.53	9.63
8	31.92	9.74	32.52	9.58
9	25.2	9.22	20.68	9.48
10	19.04	9.41	26.10	9.39
11	17.36	9.43	26.67	9.37

Con los datos obtenidos en el cuadro 33 se puede decir que la variable independiente fue el pH ya que este tuvo mayor efecto sobre la temperatura, esta dependencia se muestra en la figura 23.

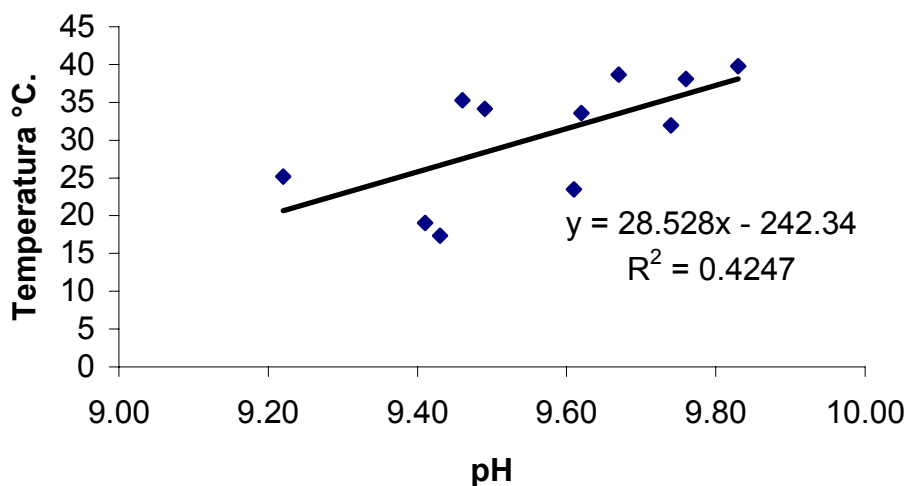


Figura. 23. Regresión lineal entre los datos de pH y temperatura tomados a 30 cm de profundidad en el extremo poniente de la pila del estiércol de cabra.

La temperatura fue la variable dependiente, debido a que por cada incremento unitario del pH la temperatura esta se modificaba 28.527834 °C.

Cuadro. 34. Análisis de varianza de la regresión de los datos de pH y temperatura obtenidos a 30 cm de profundidad en el extremo poniente de la pila de estiércol de cabra.

FV	G. L.	S. C.	CM	FC	F α	
					0.05	0.01
Regresión	1	270.859853	270.559853	6.6443*	5.12	10.56
Residual	9	366.889965	40.765552			
Total	10	637.749818				

Coefficiente de determinación = 0.4247

Se puede afirmar con un 95 % de confiabilidad que el pH afecto el comportamiento de la temperatura, por cada cambio unitario que este tenia.

Se presento otra correlación no significativa entre pH y temperatura en la muestra 2, a una profundidad de 45 cm, con un valor mayor a 0.5 que indica una relación positiva, las variables se comportaron de manera semejante, como se muestra en la figura 24.

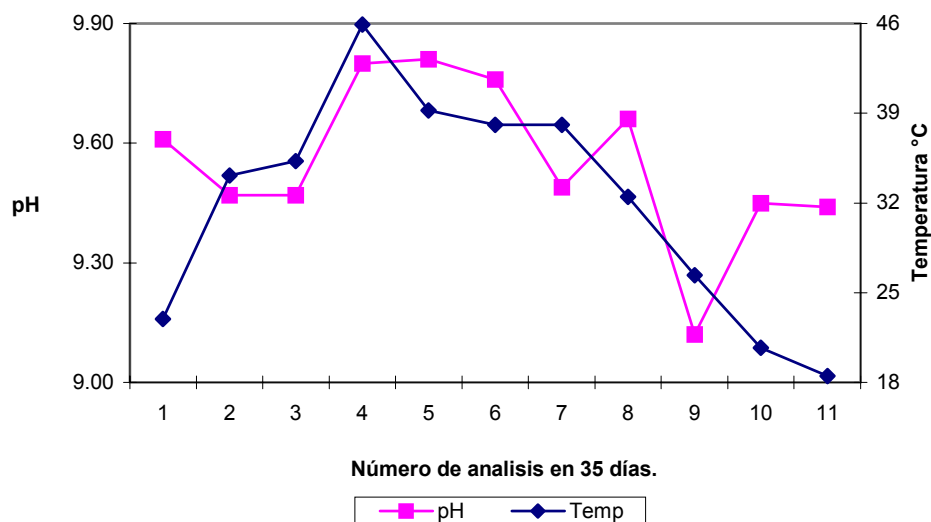


Figura. 24. Comportamiento de pH y temperatura a 45 cm de profundidad en el centro de la pila del estiércol de cabra.

Los resultados de temperatura obtenidos en este experimento coinciden con lo citado por Alcolea, (2002) este autor menciona que a mayor volumen de residuos en la composta, mayor es la energía liberada y esto provoca un aumento de temperatura mayor, ya que para pilas pequeñas se presenta un estancamiento temporal de la temperatura a 40 °C (Golueke, 1977), que fueron las temperaturas máximas alcanzadas de las pilas de estiércol durante su compostaje.

Otro motivo que pudo haber influido en los valores de temperatura obtenidos, fueron los valores de pH, ya estos fueron excesivamente alcalinos y este pudo haber actuado como agente de inhibición para los microorganismos, al afectar su desarrollo, metabolismo y reproducción (Corlay *et al.*, 1999; Santamaría *et al.*, 2001), debido a que el incremento de la temperatura en el proceso de compostaje es producido por la actividad microbiana (Stetinford, 1996; Alcolea *et al.*, 2002; Chefetz *et al.*, 1998).

El comportamiento del pH durante el compostaje de estos estiércoles contrasta con lo reportado por Soto (2003), ya que este autor menciona que el pH disminuye a niveles ácidos entre 5 y 6 en la fase inicial del proceso de compostaje, debido a la liberación de ácidos orgánicos. Pero coincide con lo reportado por los siguientes autores: Labrador (1996), señala que el pH desciende ligeramente al inicio del proceso de compostaje y se eleva junto con temperatura, disminuye en la etapa de madurez y se estabiliza en un valor cercano al 8. Monroy y Viniegra, (1981) citan que al aumentar la temperatura el pH también se eleva y se mantiene ligeramente alcalino. Ferrer, (1994) indica que el pH se incrementa por la pérdida de ácidos orgánicos que se volatilizan por efecto de altas temperaturas. Por su parte Taiganides (1977), afirma que en la etapa termófila (40 – 60 °C) el pH excede el 7 y alcanza valores de 8 a 9 y mientras este permanece alcalino con valores en un rango de 7 a 9, la temperatura comienza a descender hasta alcanzar la temperatura ambiente después de varias semanas o días.

Los valores de pH superiores de 9 en todos los estiércoles, coinciden con lo reportado por Rosas y Sosa (1979), estos autores señalan que las muestras de estiércol son fundamentalmente de naturaleza alcalina y que los valores de pH alcalinos del estiércol también se relacionan con el origen de las muestras, y debido que en esta región los suelos son alcalinos con valores de pH superiores de 8, esto pudo haber influido en el pH alcalino que presentaron los estiércoles utilizados.

El incremento de la CE durante el compostaje de estos estiércoles, se debe a que durante la descomposición de la materia orgánica se liberan sales solubles (Aguilar *et al.*, 1987). La conductividad eléctrica durante el compostaje se incrementa por la liberación de materiales solubles producto de la biodegradación de los materiales orgánicos y disminuye porque todos estos materiales solubles se van degradando (Pearson y Gandhí, 2004).

Los resultados de conductividad eléctrica difieren mucho a los reportados por Corlay *et al.*, (1999), ya que mencionan que la CE promedio de los materiales compostados: paja de avena utilizada para la producción de hongo comestible del genero *Pleurotus*; estiércol mezclado con las camas de ganado lechero y desperdicios hortofrutícolas, se incrementaron un 17 % en promedio a lo largo del proceso de compostaje debido a la mala calidad del agua utilizada para mantener la humedad de los materiales(CE = 3.9 dSm⁻¹, pH = 8.1), pero en este estudio, el estiércol que incremento más su CE fue el del ganado de bovino de carne, pero su incremento no vario más de 0.5 dSm⁻¹ respecto a sus valores iniciales de CE y además estos disminuyeron con el compostaje.

En este experimento el agua utilizada(pH = 7.32 y CE = 0.579 dSm⁻¹) es de buena calidad para uso agrícola, y por lo tanto el agua lixivio las sales (Reines *et al.*,1998) de los estiércoles y disminuyo su conductividad a lo largo del proceso, como en el caso de estiércoles de cabra, borrega y el de ganado de bovino de carne, ya que en el estiércol de bovino lechero la CE se incremento con el compostaje.

En el caso de la correlaciones entre temperatura y CE los resultados fueron muy bajos, esto indica que la CE es independiente de la temperatura.

Los resultados significativos de las correlaciones y regresiones entre las variables pH y temperatura indican relación y dependencia de la temperatura respecto al pH, ya que esta variable determino su comportamiento durante todo el proceso de compostaje en los estiércoles de cabra y borrega. Varios autores reportan que el incremento de temperatura durante el proceso de compostaje es producto de la actividad microbiana (Stentiford, 1996, Golueke,1997), dicha actividad es afectada por la presencia de iones H⁺ y OH⁻, un pH alto o bajo, ya que estos reducen la actividad microbiana. También la actividad microbiana es afectada por la salinidad (Prescott, 1999). Los pH alcalinos y una CE elevada

inhiben el crecimiento microbiano (Miller, 1993) y por lo tanto su actividad. La temperatura fue afectada por el pH y CE, ya que esta es generada por la actividad de los microorganismos y estos son afectados por estos parámetros cuando presentan concentraciones altas.

Estas afirmaciones conciden con los resultados obtenidos en este experimento, en los cuales el pH afecta el comportamiento de la temperatura, ya que esta no supera los 50 °C en todos los materiales. Los niveles más altos de temperatura fueron de 45 °C pero solo en el estiércol de borrega, pero nada más por 4 días. Los niveles de pH fueron alcalinos en un rango de 8 a 10 durante el proceso de compostaje en los 4 estiércoles utilizados.

Los resultados obtenidos de las correlaciones y regresiones entre las variables de CE y pH, señalan que el pH es dependiente de la CE, un cambio en la conductividad eléctrica modifica el valor del pH. Richards (1985), menciona que un aumento en la concentración de sales desplaza a los iones H^+ intercambiables, es decir (H^+ enlazado) de los sitios de intercambio hacia la solución externa y por lo tanto el pH aumenta por que se reduce la concentración de iones H^+ . Este mismo efecto presento la CE durante el compostado de los estiércoles, ya que estos iniciaron con niveles bajos de salinidad, se incrementaron y disminuyeron al final del proceso, induciendo la misma tendencia en el pH. Aunque las concentraciones de sales fueron bajas estas afectaron el pH. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Cajuste (1977), este menciona que una concentración más baja de sales producirá menor concentración iones de H^+ en la solución y los valores de pH serán elevados. Rodríguez (1982), menciona que cuando hay un exceso de sales el pH es mayor de 7 y disminuye la actividad de muchos microorganismos.

Respecto a la relación temperatura y CE los resultados de la correlaciones indicaron que no existio ninguna relación entres estas dos

variables. Ninguna variable afecto el comportamiento de la otra, por lo tanto fueron independientes una de otra. Sin embargo, la conductividad eléctrica provoco un efecto indirecto sobre la temperatura, ya esta fue afectada por el pH y este fue afectado por la CE. La actividad microbiana es afectada por concentraciones elevadas de sales mayores de 7 dSm^{-1} , pero en los estiércoles compostados la concentración más elevada de salinidad fue de 5.41 dSm^{-1} en el estiércol bovino de carne, esta concentración disminuyo a lo largo del proceso.

CONCLUSIONES

Considerando los resultados obtenidos y las condiciones en que se condujo este trabajo de experimentación se puede concluir lo siguiente.

La temperatura se vio afectada por el pH, ya que este pudo haber afectado la actividad microbiana por la alcalinidad que presentaron los cuatro estiércoles y debido a que el incremento de la temperatura es provocado por la actividad de los microorganismos.

La CE afecto el comportamiento del pH, aun cuando el aumento en la concentración de sales fue muy baja, esta incremento los niveles de pH.

La CE y la temperatura mostraron un comportamiento independiente, estos factores no tuvieron relación durante el compostado de estos cuatro estiércoles.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, S.A., D. Etchevers, B.J. y Castellanos, R.J. 1987. Análisis Químico, Para Evaluar la Fertilidad del Suelo. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. México.
- Aguirre B., M. 1985. Estudio Biotecnológico de la Biodegradación del Estiércol Bovino y Evaluación Agronómica. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Chapingo, Edo. de México. 158 p.
- Alcolea, M. y González, C. 2002. Manual de Compostaje Domestico. Barcelona. España.
- Alexander. M. 1981. Introducción a la Microbiología del Suelo. AGT. Editor. México, D.F. 491 p.
- Anro C, Escobar J. 1985. Producción de Compost Apartir de Heces de Cerdo Mediante Lombriz de Tierra y Evaluación de la Biomasa de ésta. Tesis. Universidad Nacional de Colombia. Medellín.
- Ansorena, M.J. 1994. Sustratos, Propiedades y Caracterización. Ediciones Mundi-Prensa. Barcelona, España.
- Atlas, R.M.; Bartha, R. 2002. Ecología Microbiana y Microbiología ambiental. 2º edición en español. PEARSON EDUCACION, S.A. Madrid. 677p.
- Avnimelech Y; Bruner M; Ecrony I; Sela R; Kochba M. 1996. Stability indexes for municipal solid waste compost. Compost Science and Utilization. 4 (2): 13 – 20.
- Ayers, R.S. y D.W. Westcot. 1987. La Calidad del Agua en la Agricultura. FAO. Roma, Italia. 174 p.
- Brock, T.D. y M. T. Madigan. 1993. Microbiología. Ma. del Consuelo Hidalgo y Mondragón (trad.) 6a. ed. Prentice may Hispanoamericana, S. A. México. 1095 p.
- Brock, T.B. 1978. Biología de los Microorganismos. Segunda Edición. Ediciones Omega. Barcelona. España. 777 p.
- Burés, P.S. 1997. Sustratos. Ediciones Agrotécnicas, S. L. Madrid. España.
- Cajuste, L.J. 1977. Química de Suelos con Enfoque Agrícola. Primera edición. Colegio de Postgraduados. Montecillo. Edo. de México.

- Cepeda, D. J.M. 1991. Química de Suelos. Segunda Edición. Editorial Trillas. México, D.F. 167 p.
- Castellanos R., J. 1984. El Estiércol Para su Uso Agrícola en la Región Lagunera. CAELALA-CIAN-INIA. Torreón, Coahuila, México. 18 p.
- Chang. C. 1987. The Challenge of Manure Management. Pages 1-7 in Proceedings of the Canadian Society of Soil Science Waste Management Workshop, July 7th, 1996, Lethbridge, AB.
- Chefetz B., Patrick G., Hat C., Yitzhak H., and Yona C. 1998. Characterization of Dissolved Organic Matter Extracted from Composted Municipal Solid Waste. Soil Chemistry. Soil Science Society of America Journal. Vol. 62 (2) p. 326 – 332.
- Corlay Ch., L., R. Ferrera-Cerrato, J.D. Etchevers B., Echeagaray A. Y A. Santizo R. 1999. Cinética de Grupos Microbianos en el Proceso de Producción de Composta y Vermicomposta. Agrociencia 33: 375 – 380.
- Costa, F., C. García, T. Hernández y A. Polo. 1991. Residuos Orgánicos Urbanos. Manejo y Utilización. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Edita Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura, CEBAS. Murcia. España.
- Dalzell, H. W., A. J. Biddlestone, K.R. Gray, and K. Thurairajan. 1987. Soil Management: Compost Production and Use in Tropical Environments. FAO. Roma, Italy. 189 p.
- Dalzell, H., A. Biddlestone, K. Gray y K. Thurairajan. 1991. Manejo del Suelo: Producción y Uso del Compost en Ambientes Tropicales y Subtropicales. Boletín de Suelos FAO N° 56. Roma 312 p.
- Diehl, R., Mateo Box., J.M. y Urbano, P. 1985. Tratado de Fitotecnia General. 2da. Edición. Editorial. Mundi - Prensa.
- Eghball, B., J. Power, J. Gilley y J. Doran. 1997. Nutrient, Carbon and Mass Loss During Composting of Cattle Feedlot Manure. Journal of environmental quality (USA). 26(1): 189- 198.
- Ferrer J; Paez G; Chirinos M. 1994. Bioproceso Aeróbico de la Pulpa de Café. En: Revista Técnica de Ingeniería de la Universidad de Zulia. No.17 :267-74
- Golueke, C.G. 1977. Biological Reclamation of Solid Wastes. Rodale Press, Inc., Emmaus, Pennsylvania.

- Gonzalez V., J.A. 2001. Potencial forrajero del maíz (*Zea mays L.*) en función de diferentes niveles de materia orgánica bajo un sistema de surcos dobles. Tesis Maestría. FAZ. UJED. Venecia, Durango 88 p.
- González, A.R. Sánchez y E. San. Martín. 1985. Fundamentos en la Agroecología Mexicana. (La Agroecología Como Alternativa Para el Desarrollo Rural Sostenible). México.
- Gouin F, Laliberty Jr; Kay D, et al.1980. On Farm Composting Handbook. Boston. 186.p
- Grupo Interdisciplinario de Estudios Moleculares (GIEM). 1999. Manejo y Evaluación de la Gallinaza (Materia prima en Compostación): Avicultores. No: 53 :28-33.
- Haimi, J. and V. Huhta. 1987. Comparison of Compost Produced From Identical Wastes by "Vermistabilization" and Conventional Composting. *Pedobiologia*: 30: 137 – 144.
- Harada Y; Inoko A. 1980. Relation ship between cation-exchange capacity and degree of maturity of city refuse composts. *Soil Science and Plant Nutrition*. 126: 353 362.
- Harada Y; Inoko A; Tadaki M; Izadaki T. 1980. Maturing process of city refuse compost during piling. *Soil Science Plan Nutrition*, 27, 357 – 364.
- Hansen, R.C., Keener, H. M., Marugg, C., Dick, W. A. y Hoiting, H. A. J. 1993. Composting of poultry manure. In: Hoiting, H,A.J. y Keener, H. M. (ed). *Science and Engineering of composting: design, environmental, Microbiological and Utilization aspects*. 131-153 p.
- Hirai, M.F., Chanyasak, V., & Kubota, H. 1983. Standard Measurement for Compost maturity. *Biocycle*, Nov/Dec, 1983. pp. 54-56.
- Hoitink, H.A.J. and G.A. Kuter. 1986. Effects of Composts in Growth Media on Soil Borne Pathogens. *In: The Role of Organic Matter in Modern Agriculture*. Chen. Y. and Y. Avnimelech (eds.). Martinus Nijhoff Publishers. Dordrecht, Netherlands. Pp: 289 –306.
- Inbar Y; Chen Y; Hadar Y; Hoitink H. 1990. A New Approaches to compost maturity. *Biocycle*. 31(12), 64 – 69.
- Inbar Y; Hadar Y; Chen Y. 1993. Recycling of cattle manure: the composting process and characterization of maturity. *Journal of Environmental Quality*. 22: 857 – 863.

- Irissón-Name. S., I. Barios y E. Aranda. 1999. Calidad Química, Bioquímica y Bacteriológica de la Vermicomposta de Pulpa de Café. *In: Primer Simposium Internacional y Primera Reunión Nacional sobre Lombricultura y Abonos Orgánicos*. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. pp: 145 –147.
- Labrador. M.J. 1996. La Materia Orgánica en los Agroecosistemas. Editorial. Mundi-Prensa. Madrid.España.
- Jimenez E.I; García V. 1989. Evaluación of city refuse compost maturity: a review *Biological Wastes*. 27. 115 – 142.
- Jurgen, C.; Forster, Z.; Wurdinger, E. 1993; Comparison of Chemical and Microbiological Methods for the Characterization of the Maturity of Compost From Contrasting Sources. *Institute of Soil Science and Soil Geography*; 16:93-99.
- Leggett, A.J.2002. Biological Manipulation of Manure: Getting What You Want from Animal Manure. *Agricultural and Biological Engineering*. College of Agricultural Sciences, U.S. Department of Agriculture, and Pennsylvania Counties Cooperating.
- Longuet, J.P. 1977. Les Ordure's Menageres Menace ou Source Devie. Necesite Historique du compostage. *Ing. des Villes de France*. No. 236. p. 75 – 90.
- Lynch, J.M. 1977. Phytotoxicity og Acetic Acid Produced in the Anaerobic Descomposición of Wheat Straw. *Journal of Bacteriology*.42. 81-87, U.S.A.
- Manual de compostaje.1999. Corporación de Investigación de Chile. Santiago de Chile.
- Martinez, A. A. 1995. Manual Práctico do Minhocultor. 3ª. ed. Secretaria da Agricultura e Abastecimento do Estado de Sao Paulo. Brasil. 137 p.
- Mathur, S.P; Owen, G; Dinell, H; Schnitzer , M. 1993. Determination of Compost Biomaturity. *Biological Agriculture and Horticulture*, 10: 65-85
- Miller, F.C. 1993. Composting as a Process Based on the Control of Ecologically Selective Factors. *In: Soli Microbial Ecology*. Metting Jr., F. B. (ed.). Marcel Dekker, Inc. New York, USA. pp. 515 – 544.
- Miller, F. C. 1993. Minimizing Odor Generation. *In: HOITING, H,A.J. y KEENER, H. M. (ed). Science and Engineering of Composting: Design, Environmental, Microbiological and Utilization aspects*. 219-241 p.
- Monroy, H.O y Viniegra, G. 1981. Biotecnología Para el Aprovechamiento de los Desperdicios Orgánicos. Editorial. AGT. S. A. México.

- Morrison, M. and R.I. Mackie. 1996. Nitrogen Metabolism by Ruminal Microorganisms: Current Understanding and Future Perspectives. *Aust. J. Agric. Res.* 47: 227 – 246.
- Orozco A. 1980. Desechos sólidos. Editorial. Mundi-Prensa. 420 p.
- Paul, E. A., y CLARK, F.E. 1996. *Soil Microbiology and Biochemistry*. 2nd ed. Academic Press. 340 p.
- Prescott, Harley y Klen. 1999. *Microbiología*. McGrawHill. Barcelona, España.
- Rentería, T.R. 1985. *Reciclamiento de Excretas de Ganado Bovino en la Alimentación Animal*. Mon. No.2., UAAAN, Torreón, Coahuila, México.
- Richards, L.A. 1985. *Diagnostico y Rehabilitación de Suelos Salinos y Sódicos*. Editorial. LIMUSA. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América. E.U.A. p 19.
- Rodríguez, C. 2002. *Curso de Producción Animal y de Introducción a la Producción Animal*. FAU. UNRC. Buenos Aires. Argentina.
- http://www.cuencarural.com.ar/ganadera/Residuos_ganaderos.
- Rodríguez, F. S. 1982. *Fertilizantes – Nutrición Vegetal*. Primera Edición. A.G.T. Editor. México, D. F.
- Romero, J. 1996. *El compost*. Cuarta edición. Cap. 1
- Ronald, F.C. y Alarcón, A. 2001. *La Microbiología del Suelo en la Agricultura Sostenible*. *Revista. Ciencia Ergo Sum*. Vol. 8. N. 2. Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México. p. 175 – 183.
- Rosas, R.E. y Sosa, M.E. 1979. *Estudio de Algunos Componentes Nitrogenados del Estiércol*. *Revista Chapingo (Nueva Época)* No. 20
- Rynk, R. 1992. *On-farm Composting Handbook*. Northeast Regional Agricultural Engineering Service. Cooperative Extension. New York, USA. 186 p.
- Santamaría, R.S., Ferrera Cerrato, R., Almaraz Suárez, J.J., Galvis Spinola, A., Barois Boullard, I. 2001. *Dinámica y Relaciones de Microorganismos, C-orgánico y N-total Durante el Composteo y Vermicomposteo*. *Agrociencia* 35: 377-384.
- Saldivar, J.A. 1998. *Evaluación de Parámetros Físicos, Químicos y Agronómicos de un Suelo Tratado con Tres Diferentes Clases de Materia Orgánica, Procedentes de*

- la Cascarilla de Dátil, Compost y Estiércol. Tesis Maestría en Suelos. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Senesy, M. 1989. Composted Materials as Organic Fertilizers. *The Science of Total Environment*. 81/82:521-542.
- Sharpley, A., Meisinger, J.J. Breeuwsma, A., Sims, J.T., Daniel, T.C. and Schepers, J.S. 1998. Impacts of Animal Manure Management on Ground and Surface Water Quality. Pages 173-242 in J.L. Hatfield and B.A. Stewart (eds.) *Animal waste utilization: effective use of manure as a soil resource*. Ann Arbor Press, Chelsea, MI.
- Soto, G. 2003. *Abonos orgánicos. El proceso de Compostaje*. Centro Agronómico Tropical de Enseñanza (CATIE). Sabanilla. Costa Rica.
- Stetinford, E.I. 1996. Composting control: Principles and Practices. In: De Bertoldi, M., P. Sequi., B., Lemmes y T. Papi (eds.) *The Science of Composting. Part I*. Blackie Academic and Professional, Chapman and Hall, London.
- Stevenson, F.J. and E.T. Elliott. 1989. Methodologies for Assessing the Quality and Quantity of Soil Organic Matter. p. 173-199. In D.C. Coleman et al., (ed.) *Tropical soil organic matter*. Univ. of Hawaii Press, Honolulu.
- Sutton, A.L. 1994. Proper Animal Manure Utilization. *J. Soil Water Conserv.* 49:65-70.
- Sweeten, J.M. and Mathers, A.C. 1985. Improving Soils With Livestock Manure. *J. Soil and Water Conserv.* 40: 206-210.
- Taiganides, E.P. 1977. *Animal wastes*. Ed. Applied Science Publishers Ltd London. U.S.A. Columbus, Ohio.
- Tamhane, R.V y Motiramani, D.P. 1986. *Suelos, su Química y Fertilidad en Zonas Tropicales*. México, D.F.
- Tim Haug, R. 1980. *Compost Engineering. Principles and Practice*. Ahn Arbor Science Puclishers, Inc. United States of America. Michigan. 665 p.
- Young M., M. J. Rangel S., B. Beristain B. y G. Mercado B. 1985. Tecnología Para el Manejo, Tratamiento y Utilización de Residuos Porcícolas en México. *In: Memorias del taller regional PNUMA (CEPAL). Sobre la Utilización de los Residuos Agrícolas y Agroindustriales en América Latina y el Caribe*. Hurtubia, J. y O. Monroy H. (eds.). México, D. F. pp: 171-199.
- Urbano, T.P. 1999. *Tratado de Fitotecnia General. Segunda Edición*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. Pág. 385-388.

- Van de Kerkhove J. M. 1990. Evolución de la Maturite de trois dechets urbains en cours de compostaje . PHD Institut National Polytechnique de Lorraine.
- Wang P., Changa C.M., Watson M.E., Dick W.A., Chen Y., Hointink H. A. J. 2004. Maturity indices for composted dairy and pig manures. *Soil Biology and Biochemistry*. 36: 767 – 776.
- Watson, M. E. 2002. Testing Compost. Extension Fact Sheet. The Ohio State University. Coffey Road, Columbus.
- Wu, L; Ma, LQ; Martinez, GA. 2000. Comparison of Methods for evaluating Stability and Maturity of Biosolids Compost. *Journal of Environmental Quality*. 29; 424-429.