



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE INVESTIGACIÓN
PARA EL DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL,
UNIDAD DURANGO**

**APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS QUE SE
GENERAN EN LA EXTRACCIÓN DEL ACEITE
ESENCIAL DE ORÉGANO (*Lippia graveolens* HBK. s.l.)**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS EN GESTIÓN AMBIENTAL

PRESENTA:

LILIA CATALINA CORRAL TORRECILLAS

DIRECTORAS DE TESIS:

M.C. MARÍA GUADALUPE VICENCIO DE LA ROSA

M.C. MARTHA CELINA GONZÁLEZ GÜERCA

Victoria de Durango, Dgo., Diciembre de 2011





INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

SECRETARIA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REGISTRO DE TEMA DE TESIS Y DESIGNACIÓN DE DIRECTORES DE TESIS

México, D.F. a 17 de Diciembre del 2010

El Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CIIDIR –IPN Durango en su sesión Ordinaria No. 12 celebrada el día 7 del mes de Diciembre conoció la solicitud presentada por el(la) alumno(a):

<u>CORRAL</u>	<u>TORRECILLAS</u>	<u>LILIA CATALINA</u>
Apellido paterno	Apellido materno	Nombre (s)
Con registro:		
<u>B</u>	<u>0</u>	<u>9</u>
<u>1</u>	<u>1</u>	<u>9</u>
<u>9</u>		

Aspirante de: Maestría en Ciencias en Gestión Ambiental

1.- Se designa al aspirante el tema de tesis titulado:

"Aprovechamiento de los residuos que se generan en la extracción del aceite esencial de orégano (Lippia graveolens HBK. s.l.)"

De manera general el tema abarcará los siguientes aspectos:

Caracterización cualitativa de los metabolitos secundarios presentes en el material de estudio, caracterización química de macronutrientes del material, establecimiento y evaluación del proceso de composteo.

2.- Se designan como Directores de Tesis a los Profesores:

M. en c. Martha Celina González Güereca y M. en C. María Guadalupe Vicencio de la Rosa

3.- El trabajo de investigación base para el desarrollo de la tesis será elaborado por el alumno en: CIIDIR-IPN Unidad Durango

que cuenta con los recursos e infraestructura necesarios.

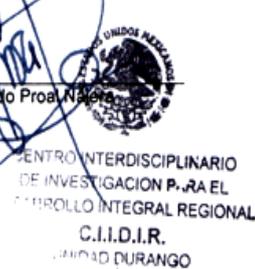
4.- El interesado deberá asistir a los seminarios desarrollados en el área de adscripción del trabajo desde la fecha en que se suscribe la presente hasta la aceptación de la tesis por la Comisión Revisora correspondiente:

Directores de Tesis


M. en C. Martha Celina González Güereca
Aspirante


Lilia Catalina Corral Torrecillas


M. en C. María Guadalupe Vicencio de la Rosa
Presidente del Colegio


Dr. José Bernardo Proal Nolasco

CENTRO INTERDISCIPLINARIO
DE INVESTIGACION PARA EL
CONTROL INTEGRAL REGIONAL
C.I.I.D.I.R.
UNIDAD DURANGO



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de Durango, Dgo. siendo las 14:30 horas del día 23 del mes de Noviembre del 2011 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CIIDIR-IPN DGO para examinar la tesis titulada:

Aprovechamiento de los residuos que se generan en la extracción del aceite esencial de orégano (*Lippia graveolens* HBK. s.l.)

Presentada por el alumno:

CORRAL

TORRECILLAS

LILIA CATALINA

Apellido paterno

Apellido materno

Nombre(s)

Con registro:

B	0	9	1	1	9	9
---	---	---	---	---	---	---

aspirante de:

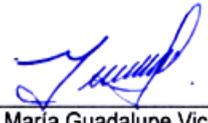
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN GESTIÓN AMBIENTAL

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA

Directores de tesis


M. en C. Martha Celina González Güereca


M. en C. María Guadalupe Vicencio de la Rosa

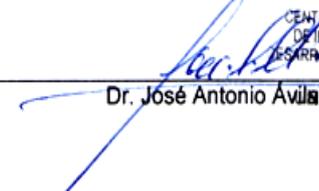

Dra. Hortensia Hernández Vela

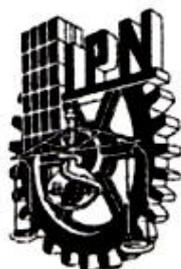

Dr. Isaiás Chaírez Hernández


M. en C. María Berenice González Maldonado

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES




Dr. José Antonio Ávila Reyes
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE INVESTIGACIÓN PARA EL DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL
CIIDIR
DURANGO
I.P.N.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de **DURANGO, DGO.**, el día **23** del mes **NOVIEMBRE** del año **2011**, el (la) que suscribe **CORRAL TORRECILLAS LILIA CATALINA** alumno (a) del Programa de **MAESTRÍA EN CIENCIAS EN GESTIÓN AMBIENTAL** con número de registro **B091199**, adscrito a **CIIDIR- IPN UNIDAD DURANGO**, manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección de la **M. EN C. MARTHA CELINA GONZÁLEZ GÜERECA** y la **M. EN C. MARÍA GUADALUPE VICENCIO DE LA ROSA** y cede los derechos del trabajo intitulado **“APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS QUE SE GENERAN EN LA EXTRACCIÓN DEL ACEITE ESENCIAL DE ORÉGANO (*Lippia graveolens* HBK. s.l)”**, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección **lect_24@hotmail.com**. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.


LILIA CATALINA CORRAL TORRECILLAS
Nombre y firma

LA PRESENTE INVESTIGACIÓN SE LLEVÓ A CABO EN EL CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE INVESTIGACIÓN PARA EL DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL DEL INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL, UNIDAD DURANGO, DERIVADA DEL PROYECTO "APROVECHAMIENTO DEL TALLO Y BAGAZO DE LAS HOJAS DE ORÉGANO" CON CLAVE SIP 20101109 BAJO LA DIRECCIÓN DE LA MAESTRA MARÍA GUADALUPE VICENCIO DE LA ROSA Y LA MAESTRA MARTHA CELINA GONZÁLEZ GÜERECA.

DEDICATORIA

ESTE TRABAJO DE TESIS LO DEDICO ENTERAMENTE A MIS PADRES **JOSÉ DE LA LUZ CORRAL LARA Y LIDIA TORRECILLAS NEVARES**. GRACIAS POR CREER EN MÍ, POR SACARME ADELANTE Y DARME SIEMPRE EJEMPLOS DIGNOS DE SUPERACIÓN Y ENTREGA. PORQUE USTEDES JUNTO A MIS HERMANOS Y SOBRINOS SON LA BASE DE MI VIDA.

AGRADECIMIENTOS

A mis hermanos y sobrinos, pero especialmente a mis padres, que siempre me apoyaron, creyeron en mí e impulsaron mi crecimiento profesional.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo económico brindado para realizar mis estudios de maestría.

Al Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, (CIIDIR IPN Unidad Durango) por la formación académica de gran calidad impartida en sus aulas, y a todo el personal que ahí labora que siempre estuvo dispuesto a brindarme su apoyo.

A mis directoras de tesis: la maestra María Guadalupe Vicencio de la Rosa y la maestra Martha Celina González Güereca por su invaluable apoyo y experiencia, por compartir su tiempo y conocimiento conmigo y por su paciencia durante el desarrollo de mi trabajo de tesis.

A mis asesores de tesis: el doctor Isaías Chairez Hernández y la doctora Hortensia Hernández Vela, por sus valiosos consejos y recomendaciones.

A mis revisoras de tesis: la doctora María Elena Pérez López y la maestra María Berenice González Maldonado, por realizar importantes aportaciones a mi trabajo.

A mis compañeros de maestría y amigos, por ser parte de mi vida, por las experiencias compartidas y por dejar en mí recuerdos invaluable.

ÍNDICE GENERAL

GLOSARIO.....	i
ÍNDICE DE CUADROS.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vi
RESUMEN.....	vii
ABSTRACT.....	viii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1 Orégano.....	3
2.1.1 Descripción.....	4
2.1.2 Composición química.....	4
2.1.3 Importancia económica.....	5
2.1.4 Usos.....	6
2.1.5 Residuos del orégano.....	6
2.2 Residuos.....	7
2.2.1 Residuos orgánicos y su problemática.....	7
2.2.2 Sistemas de aprovechamiento de residuos orgánicos.....	8
2.3 El compostaje.....	9
2.3.1 Historia.....	9
2.3.2 Fundamentos.....	10
2.3.3 Fases del compostaje.....	11
2.3.4 Factores que influyen en el proceso.....	12
2.4 El compost.....	16
2.4.1 Madurez.....	17
2.4.2 Calidad.....	18
2.4.3 Normatividad.....	19
III. JUSTIFICACIÓN.....	22
IV. OBJETIVOS.....	23
4.1 GENERAL.....	23
4.1.1 ESPECÍFICOS.....	23
V. HIPÓTESIS.....	24
VI. MATERIALES Y MÉTODOS.....	25
6.1 Material botánico de estudio.....	25
6.1.1 Residuos sometidos al compostaje.....	25
6.2 Diseño experimental.....	25

6.3	Caracterización del material vegetal.....	26
6.3.1	Análisis fitoquímico cualitativo.....	26
6.3.2	Análisis químico.....	27
6.3.3	Análisis microbiológico.....	28
6.4	El Compostaje.....	28
6.4.1	Monitoreo del proceso.....	28
6.5	Madurez de los compost.....	29
6.6	Características químicas, físicas y microbiológicas de los compost resultantes.....	29
6.7	Análisis estadístico.....	30
6.8	Estimación del costo de producción del compost de residuos de orégano.....	30
VII.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	31
7.1	Caracterización de los residuos.....	31
7.1.1	Análisis fitoquímico cualitativo.....	31
7.1.2	Análisis químico.....	32
7.1.3	Análisis microbiológico.....	32
7.2	Monitoreo del proceso.....	33
7.2.1	Temperatura.....	33
7.2.2	pH.....	37
7.2.3	Conductividad eléctrica.....	40
7.2.4	Materia orgánica.....	43
7.3	Madurez de los compost.....	45
7.4	Propiedades físicas, químicas y biológicas de los compost.....	48
7.4.1	Materia orgánica.....	50
7.4.2	Relación C/N.....	50
7.4.3	Densidad aparente.....	50
7.4.4	Carga microbiana.....	51
7.5	Estimación del costo de producción de los compost de residuos de orégano.....	51
7.5.1	Composición de las mezclas.....	52
7.5.2	Traslado de los residuos sometidos al compostaje.....	53
7.5.3	Requerimientos de agua.....	54
7.5.4	Mano de obra.....	54
VIII.	CONCLUSIONES.....	56
IX.	RECOMENDACIONES.....	57
X.	BIBLIOGRAFIA.....	58
	ANEXOS.....	66

GLOSARIO

Acondicionador de suelos. Compuestos de origen orgánico que por sus características pueden utilizarse como abonos para mejorar la calidad productiva del suelo.

Autolisis. Es el proceso biológico por el cual una célula se autodestruye, ya sea porque no es necesaria o porque está dañada y debe prevenirse un daño mayor.

Biodegradable. Sustancia que puede ser descompuesta con cierta rapidez por organismos vivos (bacterias, hongos, gusanos e insectos).

Coliformes fecales. Bacterias patógenas presentes en el intestino de animales de sangre caliente y humanos. También son conocidos como Coliformes termotolerantes debido a que pueden identificarse por su tolerancia a temperaturas de 44-45°C. Incluyen al género *Escherichia* y algunas especies de *Klebsiella*.

Compost. Es el producto obtenido mediante procesos microbiológicos aerobios y anaerobios, que han pasado por las diferentes etapas termofílicas y mesofílicas, que permiten obtener un producto benéfico para el suelo e inocuo para el ambiente.

Compostaje. Tecnología utilizada para la obtención de compost, a partir de desechos orgánicos vegetales y animales o biosólidos, utilizando un proceso de tipo microbiológico y bioquímico, basado en procesos de mineralización, transformación y estabilización bajo condiciones aeróbicas o anaeróbicas termofílicas, bajo condiciones adecuadas de humedad y temperatura.

Estabilidad del compost. Se refiere a la tasa o grado de descomposición de la materia orgánica que se puede expresar como una función de la actividad microbiológica y se determina por medidas respirométricas o por la liberación de calor como resultado de la actividad de los microorganismos.

Estado de dormancia. Es el periodo en el ciclo biológico de un organismo en el que el crecimiento, desarrollo y actividad física se suspenden temporalmente reduciendo la actividad metabólica y permitiendo que el organismo conserve energía.

Fase mesofílica. Se presenta cuando en el compostaje actúan microorganismos capaces de vivir en un rango de temperatura de 25 a 40°C. Responsable de la mayor parte de la actividad metabólica durante el proceso.

Fase termofílica. Se presenta cuando en el compostaje se reemplaza la población mesofílica dando lugar a microorganismos que se desarrollan a temperaturas mayores a 40°C, los cuales continúan con la degradación de los residuos.

Fitotoxicidad. Se llama así a la capacidad que tienen los productos para producir daños a las plantas. Se refiere a los tóxicos que afectan vegetales.

Iteróparo. Se refiere a un organismo cuya reproducción ocurre repetitivamente durante su ciclo de vida.

Lábil. Se refiere a aquel compuesto fácil de transformar en otro más estable.

Lixiviado. Es el líquido residual generado por la descomposición biológica de la parte orgánica o biodegradable de los residuos sólidos bajo condiciones aeróbicas o anaeróbicas y/o como resultado de la percolación de agua a través de los residuos en proceso de degradación que contienen sustancias que pueden infiltrarse en los suelos o escurrirse fuera de los sitios en los que se depositan.

Madurez del compost. Se refiere a la ausencia de sustancias fitotóxicas en el producto final, producida por determinados compuestos orgánicos fitotóxicos como el amoníaco, ácidos grasos, compuestos fenólicos hidrosolubles y otros, que se forman durante la fase activa del compostaje.

Melanización. Es el proceso responsable de la coloración oscura, más o menos negra, que adquieren los horizontes del suelo como resultado de la impregnación de los restos orgánicos en la masa del suelo.

Perene. Planta o estructura que es persistente.

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Características fisicoquímicas y sanitarias de un compost	20
Cuadro 2	Características físicas, químicas y biológicas de un compost.....	22
Cuadro 3	Composición de las mezclas en el compostaje.....	26
Cuadro 4	Resultados del análisis fitoquímico de bagazo y tallos de orégano.....	31
Cuadro 5	Características químicas del material utilizado en el compostaje.....	32
Cuadro 6	Cuenta de microorganismos viables en residuos sometidos al compostaje.....	33
Cuadro 7	Resultados del análisis de la temperatura interna de las mezclas durante el compostaje.....	34
Cuadro 8	Valores de la temperatura interna de las mezclas durante el compostaje.....	35
Cuadro 9	Correlación de la temperatura de las mezclas con relación a la temperatura ambiente, máxima y mínima.....	36
Cuadro 10	Valores iniciales y finales de pH en los tratamientos.....	38
Cuadro 11	Valores inicial y final de CE en los tratamientos.....	41
Cuadro 12	Reducción de materia orgánica durante el compostaje de los residuos y relación C/N inicial de los tratamientos.....	43
Cuadro 13	Valores del índice de germinación de los tratamientos durante el compostaje.....	46

Cuadro 14	Propiedades físicas, químicas y biológicas de los compost de residuos de orégano en comparación con valores de referencia.....	49
Cuadro 15	Composición de las mezclas y cantidad de residuos y agua a agregar.....	53
Cuadro 16	Costo de producción de los compost de residuos de orégano.....	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Esquema de los elementos que intervienen en el compostaje y los productos que se generan en su desarrollo.....	10
Figura 2.	Evolución de la temperatura en los tratamientos durante el compostaje.....	36
Figura 3.	Comportamiento del pH durante la degradación de los residuos.....	37
Figura 4.	Superficies de respuesta y contribución de cada residuo a la respuesta del pH durante el compostaje.....	39
Figura 5.	Comportamiento de la CE durante el compostaje de los residuos.....	40
Figura 6.	Superficies de respuesta, y contribución de cada residuo a la respuesta de la CE durante el compostaje.....	42
Figura 7.	Superficies de respuesta, y contribución de cada residuo a la respuesta de la MO durante el compostaje.....	45
Figura 8.	Superficies de respuesta, y contribución de cada residuo a la respuesta máxima del IG durante el compostaje.....	47
Figura 9.	Diagrama de proceso: compostaje de residuos de orégano.....	52

RESUMEN

Aprovechamiento de los residuos que se generan en la extracción del aceite esencial de orégano (*Lippia graveolens* HBK. s.l.)

Palabras clave: residuos de orégano, compostaje.

Se produjo compost a partir de residuos generados en la extracción del aceite esencial de orégano. Se establecieron sistemas de compostaje bajo un diseño experimental Lattice Simplex Centroid de tres niveles (bagazo de hoja, tallo y estiércol de vaca) y dos factores (proporciones de 50% y 33.3%): Tratamiento: I (bagazo), II (tallo), III (estiércol), IV (bagazo + estiércol), V (bagazo + tallo + estiércol), VI (tallo + estiércol) y VII (bagazo + tallo). El proceso fue evaluado mediante el comportamiento del pH, conductividad eléctrica (CE) y reducción de materia orgánica (MO). La madurez de los compost se evaluó por el índice de germinación (IG). El pH alcanzó valores superiores a 8.5 hasta estabilizarse entre 8.5 y 9.0, excepto en el tratamiento II (pH=7.7). Los compost resultantes se clasificaron como salinos, presentando diferencias significativas; el estiércol y los productos de la degradación de la materia orgánica contribuyeron a una CE alta. La reducción de MO fue mayor en tratamientos con estiércol, ya que éste incorporó microorganismos benéficos para la biodegradación. Los compost maduraron a las 16 semanas con un IG mayor al 90% que indicó ausencia de compuestos fitotóxicos, pero sólo los compost IV y VI cumplieron con estándares referenciales de calidad. Su costo de producción fue de \$2.93 y de \$2.98/kg sin superar el costo comercial de otros compost, lo que beneficiaría a recolectores de orégano duranguenses por su comercialización pero también, contribuiría a minimizar el impacto ambiental al reducir el volumen de residuos incinerados o depositados en vertederos.

ABSTRACT

Utilization of waste generated in the extraction of essential oil of oregano (*Lippia graveolens* HBK. s.l.)

Keywords: oregano wastes, composting.

Compost was produced from waste generated by the extraction of essential oil of oregano. Composting systems were established under a Simplex Centroid design of three levels (bagasse leaf, stem and cow dung) and two factors (ratios of 50% and 33.3%): Treatment: I (bagasse), II (stem), III (cow dung), IV (bagasse + cow dung), V (bagasse + stem + cow dung), VI (stem + cow dung) and (bagasse + stem). The process was evaluated by the behavior of pH, electrical conductivity (EC) and reduction of organic matter (OM). The maturity of the compost was evaluated by the germination index (GI). The pH reached values greater than 8.5 to stabilize between 8.5 and 9.0, except in treatment II (pH=7.7). The resulting compost is classified as saline, producing significant differences; cow dung and degradation products of organic matter contributed to a high EC. OM reduction was greater in treatments with cow dung, as it incorporated beneficial microorganisms for biodegradation. The matured compost at 16 weeks with a GI greater than 90% indicating the absence of phytotoxic compounds, but only compost IV and VI met quality standards of reference. Its cost of production was \$2.93 and \$2.98/kg not exceeding the cost of doing business in other compost, this would benefit Durango oregano collectors in their marketing but also help to minimize the environmental impact by reducing the volume of waste incinerated or deposited in landfills.

I. INTRODUCCIÓN

Los productos forestales, generalmente se refieren a la madera que se extrae de los árboles presentes en bosques o selvas, dejando de lado a la mayoría de las especies arbustivas y herbáceas, denominadas recursos forestales no maderables (RFNM), los cuales son una importante fuente de ingresos para comunidades rurales en los que los índices de marginación y emigración son muy elevados. Así mismo, son fuente de alimentos, remedios medicinales y otros productos para el autoconsumo de la población (SEMARNAT, 2009).

En México uno de los RFNM de mayor importancia económica es el orégano, del cual se aprovechan anualmente más de 6500 t de hoja seca, actividad que deja una derrama económica superior a los 160 millones de pesos por exportación del 90% de ésta. La colecta del orégano se realiza en época de lluvias durante los meses de septiembre a octubre. Se corta hasta el 75% del arbusto que incluye el ramaje con hojas, pero únicamente se comercializa la hoja que representa la variable de interés por su gran valor económico y la cual de acuerdo a García y Ortega (2007) representa aproximadamente el 40% de la planta. El 60 % restante son tallos y ramas, considerados un material de desecho.

Otro residuo producto del aprovechamiento del orégano es el bagazo, formado por las hojas que quedan después de la extracción del aceite esencial por el método de destilación por arrastre de vapor de agua (Rolando, 2007), que constituye aproximadamente el 95% en peso seco de su peso inicial (SEMARNAT, 2001). Estos residuos no reciben ningún tipo de aprovechamiento y comúnmente se queman a cielo abierto, se dejan en campo o se depositan en sitios no regulados contaminando el ambiente.

Actualmente los problemas asociados con el manejo y disposición de los residuos son muchos y muy complejos. Los residuos orgánicos como lo son los del orégano, ocupan un lugar sobresaliente en el mundo debido a los impactos ambientales negativos originados por una inadecuada disposición, por el alto

contenido en materia orgánica de difícil degradación, y a que cada vez son más a causa del incremento de la población, a los procesos de transformación y a los hábitos de consumo de los individuos (Buenrostro, 2006). Por lo tanto el aprovechamiento de estos residuos y en consecuencia su minimización, contribuye a conservar y reducir la demanda de recursos naturales, a disminuir el consumo de energía, a prolongar la vida útil de los sitios de disposición final y a bajar sus costos.

Existen diversas formas de aprovechar los residuos orgánicos, ya sea como alimento para animales, como fuente de energía o como fuente de abonos. Esta última mediante el compostaje, que es un proceso de descomposición de la materia orgánica que da origen a un producto denominado compost, cuyas propiedades permiten mejorar la estructura y textura de los suelos e integrar nutrientes (Kalil, 2007).

Por todo lo anterior, el objetivo de este trabajo fue aprovechar los residuos generados en el proceso de extracción del aceite esencial del orégano para producir compost con la finalidad disminuir el impacto ambiental ocasionado cuando éstos son quemados o abandonados pero también para incrementar la diversificación de la comercialización del orégano.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Orégano

Orégano es el nombre con el que se conoce en el mundo a gran variedad de plantas pertenecientes a las familias de las Verbenáceas, Lamiadas, Asteráceas y Fabáceas, las cuales abarcan 170 géneros y alrededor de 3000 especies.

En México se desarrollan dos especies de importancia económica: *Lippia berlandieri* Shauer y *Lippia graveolens* HBK s.l. (Silva, 2005) que crecen de forma silvestre en regiones áridas y semiáridas del país, principalmente en Chihuahua, Durango, Tamaulipas y Coahuila, estados en los que se localizan las áreas productoras de orégano comercial con el 50% de los permisos de aprovechamiento (Villavicencio, 2007).

El orégano es un arbusto que se distribuye desde el sur de Texas, México y Centro América (Ku, 2008) y se adapta a condiciones muy variadas de clima, preferentemente de tipo seco y semiseco sobre lomeríos rocosos, valles y arroyos, en chaparrales, matorrales desérticos y mesas de suelos alcalinos, generalmente de textura franco-arenosa en un rango altitudinal de 400 a 2000 msnm, encontrándose de forma más abundante entre los 1,400 y 1,800 msnm (Villavicencio, 2007).

En 1991, Castillo señala que el área ocupada por el orégano en México es de 35.5 millones de hectáreas, es decir, aproximadamente 17.75% del territorio nacional. Sin embargo, la SEMARNAT (2001) mediante la digitalización de un mapa de áreas permitió estimar una superficie aproximada de 69.9 millones de hectáreas (aproximadamente 34.8% del territorio nacional). En el estado de Durango el orégano se encuentra ampliamente distribuido en gran parte del territorio estatal, pero solo se recolecta para su comercialización en los municipios de: El Mezquital, Nazas, Cuencamé, Lerdo, Mapimí, Nombre de Dios, Peñón Blanco, Poanas, Rodeo, San Juan de Guadalupe, San Pedro del

Gallo, San Luis del Cordero, Santa Clara, Simón Bolívar y Tlahualilo (Flores, 2009).

2.1.1 Descripción

El orégano es un arbusto perenne, iteróparo de larga vida. La especie está formada por poblaciones morfológicas, fenológicas y fitoquímicas distintas. Es un arbusto silvestre que alcanza hasta 2.5 m de altura. Tiene tallos ramificados que contienen una gran cantidad de hojas, las cuales representan la parte aprovechable de la planta. Esas hojas tienen un tamaño aproximado de 1 a 3 cm de largo y 0.5 cm de ancho, son opuestas, alternas y de forma ovalada con bordes dentados y poseen una textura rugosa con ligeras vellosidades. Este arbusto posee flores pequeñas de color blanco que forman inflorescencias en racimos; cuyos frutos son pequeñas cápsulas que contienen semillas color café no mayores a 0.25 cm (Huerta, 1997).

2.1.2 Composición química

La concentración de los compuestos químicos presentes en el orégano depende de la fenología de la planta y de su hábitat. Su composición química en cambio, depende de la genética de la especie. Los compuestos más abundantes encontrados en el orégano son terpenoides y ácidos fenólicos. Los principales componentes químicos del aceite esencial, son el carvacrol y el timol, cada uno con enzimas específicas que dirigen su biosíntesis. De igual manera, los hidrocarburos monoterpénicos como el γ -terpineno y p-cimeno están presentes de manera constante en los aceites esenciales, en cantidades menores a las de timol y carvacrol.

En extractos metanólicos de hojas, se han encontrado a los iridoides minoritarios loganina, secologanina, secoxiloganina, dimetilsecologanósido, ácido logánico, ácido 8-epi-logánico y carioptósido, e iridoides mayoritarios como el ácido carioptosídico y sus derivados 6'-O-p-coumaroil y 6'-O-cafeoil.

También contiene flavonoides, como naringenina y pinocebrina, lapachenol e icterogenina (Arcila *et al.*, 2004).

En el bagazo de hoja de orégano se pueden encontrar cantidades de fenoles totales equivalentes a 200 mg de ácido gálico/g de extracto liofilizado y de flavonoides totales equivalentes a 150 mg de catequina/g de extracto liofilizado (Zavala *et al.*, 2006). Además las hojas son ricas en sales minerales de magnesio, hierro y potasio.

2.1.3 Importancia económica

El orégano es uno de los productos forestales no maderables de mayor importancia económica en México. Anualmente se aprovechan más de 6,500 toneladas de hoja seca, de las cuales se estima que 90% se destina a la exportación y el 10% restante para consumo nacional, generando una derrama económica superior a los 160 millones de pesos (SEMARNAT, 2009). Este recurso representa una parte fundamental de la economía de muchas poblaciones con altos índices de marginación y emigración, al brindarles la oportunidad de obtener ingresos a través de su aprovechamiento (Angulo *et al.*, 2005), ya que un recolector se estima recibe \$300.00 por 4 ó 5 costales de hoja seca. Además, un litro del aceite esencial extraído de alrededor de media tonelada de hoja, tiene un valor en el mercado internacional de aproximadamente US \$180 (SEMARNAT, 2009).

México es el principal productor de orégano, y cubre entre 35 a 40% de la demanda mundial. Los principales países importadores de éste recurso, son Estados Unidos, con alrededor de 6,500 ton/año, con un promedio de US \$14,700,000, la Unión Europea 4,400 ton/año (más de 8 millones de euros), Brasil 1,330 ton/año y Uruguay que demanda 115 ton/año (Silva, 2005).

2.1.4 Usos

El orégano ha sido ampliamente usado desde la época romana y prehispánica. Los romanos, lo empleaban durante epidemias para desinfectar ambientes y en México como remedio medicinal (Angulo *et al.*, 2005). En la actualidad la *hoja desecada* se emplea como condimento en la elaboración de numerosos platillos como sopas, guisos, pizzas, etc.; así como en la elaboración de alimentos procesados como salmueras embutidos y conservas, en donde actúan como antioxidantes. En la industria licorera y refresquera el orégano se usa como fijador y saborizante. Por sus propiedades antiasmáticas, antiespasmódicas expectorantes, antisépticas, analgésicas y cicatrizantes, se emplea en la industria farmacéutica como componente de medicamentos para el control de enfermedades de vías respiratorias y del aparato digestivo en humanos y animales. El *aceite esencial* extraído de la hoja del orégano, se utiliza en la industria cosmética (perfume y aromatizante), de alimentos (condimento y saborizante) y farmacéutica (saborizante). También se usa en la fabricación de aceite para aeronáutica, limpieza de piezas automotrices y en la elaboración de veladoras (SEMARNAT, 2009).

2.1.5 Residuos del orégano

La recolección del orégano se realiza en época de lluvias durante los meses de septiembre a octubre. En ésta se corta hasta el 75% arbusto que incluye el ramaje con hojas (SEMARNAT, 2009), pero únicamente se comercializa la hoja, que representa la variable de interés por su gran valor económico, y de acuerdo a García y Ortega (2007), representa aproximadamente el 40% de la planta por lo que el resto (tallos y ramas) se desecha convirtiéndose en un residuo vegetal. Además, cuando se realiza la extracción del aceite esencial a partir de las hojas de orégano por el método de destilación por arrastre de vapor de agua, se genera otro residuo al que se le conoce como "bagazo", formado por las hojas que quedan después de la extracción (Rolando, 2007), y de acuerdo a SEMARNAT (2001) constituyen aproximadamente el 95 % en peso seco de su peso inicial. De acuerdo a los datos anteriores

aproximadamente 98% del material recolectado para la extracción del aceite esencial es desechado por considerar que no tiene un valor económico.

2.2 Residuos

El término “residuo” se refiere a toda aquella materia generada en las actividades de producción y consumo que no han alcanzado en el contexto en que se producen ningún valor económico, por la falta de tecnología adecuada para su aprovechamiento, o de mercado para los productos obtenidos a partir de tales residuos (Costa *et al.*, 1991).

También se consideran residuos a las partes que quedan de un todo, luego de haber sufrido un proceso de transformación natural o artificial que puede modificar o no sus características fisicoquímicas y estructurales iniciales (Sztern y Pravia, 1999). En función de los recursos disponibles, los residuos son materiales fuera de lugar y desde el punto de vista económico, son el producto del uso ineficiente de los recursos de bienes y servicios demandados por la sociedad.

2.2.1 Residuos orgánicos y su problemática

Los residuos pueden ser clasificados de acuerdo a varios enfoques y tomando en cuenta distintos parámetros, que van desde el origen o actividad emisora, toxicidad y peligrosidad, tamaño, naturaleza química de los materiales emisores y parámetros fisicoquímicos en general. De acuerdo a la naturaleza química de los residuos, se establecen dos categorías; la de los residuos inorgánicos o abiógenos y la de los residuos orgánicos o biógenos. Estos últimos se refieren a todos aquellos residuos que tienen su origen en seres vivos, animales o vegetales e incluyen una gran diversidad de residuos que se originan de forma natural durante el ciclo de vida o que son producto del aprovechamiento de los recursos bióticos por el hombre (Sztern y Pravia, 1999).

Los residuos orgánicos ocupan en el mundo un lugar preponderante desde el punto de vista cualitativo y cuantitativo, ya que constituyen entre el 30 y el 65 % de los residuos domiciliarios dependiendo del lugar y el clima y más del 85 % de los residuos generados en la actividad agrícola. Estos últimos generalmente son quemados generándose un desaprovechamiento y una pérdida total de materia orgánica y de los nutrientes que ésta contiene, ya que aunque el fósforo, potasio y otros elementos son conservados en su mayor parte en las cenizas, el principal nutriente, que es el nitrógeno, se pierde casi en su totalidad.

Además la generación y acumulación de estos residuos, representan un riesgo para el ambiente, debido a la presencia de metales pesados, de microorganismos patógenos, del exceso o deficiencia de nutrientes o por la presencia de sustancias tóxicas, entre otros (Navarro, *et al.*, 1995). Por lo tanto el aprovechamiento de estos residuos y en consecuencia su minimización, contribuye reducir la contaminación ambiental al disminuir la cantidad de residuos que van a los sitios de disposición final o que simplemente son quemados o dispuestos en cualquier sitio (Buenrostro, 2006).

2.2.2 Sistemas de aprovechamiento de residuos orgánicos

El aprovechamiento de un residuo consiste en un conjunto de fases sucesivas de un proceso, cuyo objetivo es obtener un producto o subproducto utilizable. Los residuos aprovechables son aquellos que pueden ser recuperados, reutilizados y/o transformados en productos útiles para el hombre (Jaramillo, 2008).

Las alternativas generalmente utilizadas para el aprovechamiento de los residuos son como alimento animal, como fuente energética y como fuente de abonos. Esta última mediante el compostaje, proceso poco complejo, económicamente viable, poco contaminante y con gran aceptación social, cuya práctica permite degradar la materia orgánica de forma controlada para su posterior integración al suelo (Sztern y Pravia, 1999).

2.3 El compostaje

Es un proceso de descomposición o fermentación natural de la materia orgánica por la acción biológica controlada de microorganismos, lo que da origen a un producto orgánico estabilizado denominado compost, cuyas propiedades permiten mejorar la estructura y textura de los suelos, además de poder utilizarlo en menor grado como abono vegetal (Kalil, 2007), sin que provoque competencia entre los microorganismos y plantas superiores por los nutrientes que ambos necesitan (Trejo, 1999). Esta técnica se aplica principalmente a residuos fácilmente degradables, como el estiércol y residuos vegetales.

2.3.1 Historia

El compostaje de residuos orgánicos se ha practicado durante cientos de años por agricultores y horticultores en diferentes partes del mundo. Uno de los mejores ejemplos es el de los chinos, que en los deltas de los ríos, a través de la devolución al suelo de residuos de cosechas, basuras y barros aluviales, fueron capaces de mantener la fertilidad de los suelos de cultivo (Dalzell, 1991). El compostaje como técnica parece surgir con el desarrollo del proceso Indore dirigido por Sir Alfred Howard (India, 1925), en el cual se procesaban residuos orgánicos como basuras, paja y hojas en capas alternadas con estiércol y fango cloacal.

Tiempo después, dicho proceso fue modificado por el Consejo de Investigaciones Agronómicas de la India para acelerar la acción aerobia y reducir los malos olores. Entonces se le denominó proceso Bangalore. De igual forma en otras partes del mundo en la década de los años veinte se desarrollaron procesos de tratamiento bacteriológico, como los procesos Beccari, Verdier y Bordas (Trejo, 1999) que utilizaban procesos aerobios y anaerobios en un sistema cerrado. Como resultado de la experiencia e investigación realizada durante ese tiempo, se adquirió un entendimiento del

efecto de los parámetros fisicoquímico en el proceso, así como también conocimiento sobre las interacciones microbianas implicadas (Dalzell, 1991).

Para el año 1932 se instala la primer planta de compostaje en Holanda utilizando el proceso Indore, el cual modificaron y se le denominó proceso Maanen. En este proceso, los residuos sólidos se sometían a compostaje en grandes trincheras. En la década de los años cincuenta se realizaron estudios básicos sobre el compostaje de residuos sólidos municipales dirigidos por la universidad de Michigan y California en Estados Unidos. Además, en algunos países de América Latina, Europa y Asia también se desarrollaron sistemas de compostaje (Ortiz, 1994).

2.3.2 Fundamentos

El compostaje es un proceso de descomposición aerobia de los constituyentes orgánicos mediante la acción combinada de una serie de poblaciones microbianas asociadas a factores ambientales que influyen en el desarrollo y velocidad del mismo (Haug, 1993).

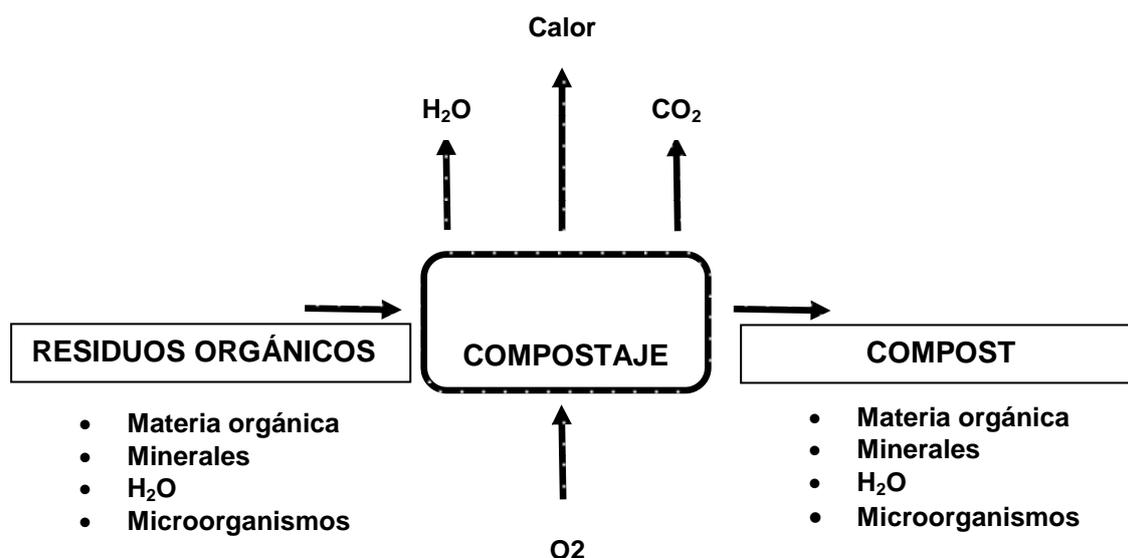


Figura 1. Esquema de los elementos que intervienen en el compostaje y los productos que se generan en su desarrollo.

En este proceso, los microorganismos toman humedad, oxígeno del aire y alimento de la materia orgánica, como resultado se produce dióxido de carbono, agua, energía, y un material estable y disponible para ser utilizado como acondicionador de suelos (Dallzel, 1991) sin que cause efectos adversos.

En general, este procedimiento se emplea para transformar residuos de materiales orgánicos en un producto útil. Regularmente los residuos sometidos al compostaje contienen una amplia variedad de microorganismos capaces de llevar a cabo el proceso, a los cuales para que inicien su actividad, se les provee de aireación y humedad adecuadas, alimento con carbono y nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio.

Como resultado, el compost obtenido está formado por las partes más resistentes de la materia orgánica original, por productos del proceso de descomposición, microorganismos muertos y algunos microorganismos vivos, junto a productos de reacciones posteriores entre los residuos fermentados (Dalzell, 1991).

2.3.3 Fases del compostaje

Durante el compostaje los residuos pasan por cuatro fases de gran importancia (mesofílica, termofílica, maduración y estabilización) que dependen de la actividad metabólica de los microorganismos (Bonilla y Mosquera, 2007).

Cuando los materiales orgánicos se acumulan en pilas, inmediatamente comienza la descomposición de la materia con la autólisis de los tejidos vivos, lo que da paso al crecimiento de la población microbiana, principalmente hongos y bacterias mesofílicas que transforman los residuos orgánicos en formas más estables. Primero utilizan compuestos simples (azúcares solubles y proteínas) como fuente de energía y de carbono. Como resultado, parte de la energía liberada por la descomposición de este material se desprende en forma de calor y origina un aumento en la temperatura hasta alcanzar los 40 °C aproximadamente. Además, el pH disminuye debido a la descomposición de

lípidos y glúcidos en ácidos orgánicos y proteínas en aminoácidos. Esta primera fase se denomina mesofílica (Jaramillo, 2008).

Posteriormente la temperatura continúa subiendo hasta 75 °C (Fase termofílica). A estas temperaturas las poblaciones mesofílicas mueren o permanecen en estado de dormancia mientras que las bacterias, actinomicetos y hongos termofílicos continúan con la fermentación, propiciando la actividad enzimática y en consecuencia la hidrólisis, la transformación de sustancias tales como grasas y el ataque superficial a lignina y celulosa. Además, los ácidos orgánicos obtenidos en la etapa anterior son degradados y los microorganismos transforman el nitrógeno en amoníaco, lo cual provoca el incremento del pH. Se inicia también la esterilización de residuos debido a las altas temperaturas, por lo que la mayor parte de los patógenos, parásitos o semillas de malas hierbas son eliminados (Avendaño, 2003).

Cuando los nutrientes y energía disminuyen, la actividad microbiana termofílica se reduce, al igual que la temperatura del material fermentado, hasta alcanzar la temperatura ambiente, lo que provoca la muerte de microorganismos termofílicos y la aparición de la población mesofílica (Comando, 2006).

Finalmente durante esta fase, se efectúa la maduración del material fermentado, una degradación más avanzada de ácidos orgánicos, una disminución de los compuestos resistentes y la formación de compuestos húmicos, produciéndose de esta forma la estabilización del material (Jaramillo, 2008).

2.3.4 Factores que influyen en el proceso

Los principales factores que intervienen en el compostaje y que determinan su eficacia y calidad del producto final son:

➤ ***Humedad***

El compostaje es un proceso biológico de descomposición, en donde la presencia de agua es imprescindible para las necesidades fisiológicas de los microorganismos que en él intervienen, pues es el medio de transporte de sustancias solubles que sirven de alimento a los microorganismos y de los productos de desecho de las reacciones que tienen lugar durante dicho proceso.

Cuando la humedad es baja, la velocidad del proceso se reduce llegando incluso, a detenerse. La actividad microbiana comienza a disminuir a niveles de humedad del 40% (Haug, 1993) y por debajo del 20% prácticamente es inexistente. Por otra parte, en un material con alto contenido de humedad se reduce la transferencia de oxígeno y en consecuencia la actividad de los microorganismos aerobios que participan en el proceso. Este hecho puede provocar la aparición de malos olores, la generación de lixiviados y la pérdida de nutrientes (Comando, 2006). Diversas investigaciones establecen que el rango óptimo de humedad se encuentra entre un 40-60%, aunque éste puede variar en función de la naturaleza del material, ya que materiales fibrosos o residuos forestales gruesos necesitan mayor cantidad de agua, siendo la humedad máxima permisible de 75 a 85%, mientras que para material vegetal fresco oscila entre 50 y 60% (Domínguez, 2010).

➤ ***Temperatura***

Durante el compostaje siempre que la humedad y la aireación sean adecuadas, comienza la actividad microbiana. Inicialmente el material fermentable se encuentra a temperatura ambiente y al incrementarse la actividad biológica se genera calor, provocando un incremento general de la temperatura por la degradación de moléculas orgánicas y la formación de otras más sencillas (Barrena, 2006).

El aumento de la temperatura permite juzgar la eficiencia y grado de estabilización del proceso, existiendo una relación directa entre la temperatura y la magnitud de la degradación de la materia orgánica (Moreno y Moral, 2007). De acuerdo con Trejo (1999), un valor adecuado de temperatura favorece la acción microbiana y destruye patógenos, entre los 35 y 40 °C se encuentra la mayor diversidad microbiana, la máxima degradación entre los 45 y 50 °C, y la muerte de microorganismos patógenos cuando se superan los 53 °C.

➤ **Aireación**

Para el desarrollo correcto del compostaje, es necesario asegurar la presencia de oxígeno, pues los microorganismos que en él intervienen son aerobios (Trejo, 1999). Durante el compostaje las pilas de residuos presentan contenidos variables de oxígeno, de tal forma que en la parte externa contiene casi tanto oxígeno como el aire (18-20%), y hacia el interior va disminuyendo mientras que el contenido de dióxido de carbono aumenta. Cuando las pilas tienen una profundidad mayor de 60 cm el contenido de oxígeno puede variar entre el 0.5 y el 2% (Barrera, 2006).

La función de la aireación de acuerdo a Haug (1993) es suministrar oxígeno para que los microorganismos funcionen correctamente, favorecer la regulación de humedad y mantener la temperatura adecuada. Cuando es insuficiente, provoca una sustitución de microorganismos aerobios por anaerobios y en consecuencia, se produce retardo en la descomposición de los residuos, la aparición de sulfuro de hidrógeno y generación de malos olores. Por el contrario, un exceso de ventilación puede provocar el enfriamiento del material y una pérdida excesiva de humedad provocando la reducción de la actividad metabólica de los microorganismos.

➤ **Nutrientes**

Entre los elementos de mayor importancia se encuentran el carbono (C), nitrógeno (N) y fósforo (P) que son los macronutrientes fundamentales requeridos por los microorganismos. El carbono es necesario para la síntesis celular y la formación del protoplasma; el nitrógeno como elemento esencial para la reproducción celular y el fósforo para la formación de compuestos celulares ricos en energía (Comando, 2006).

Otros nutrientes presentes en menor cantidad que intervienen en la síntesis de enzimas, en el metabolismo de los microorganismos, en los mecanismos de transporte intra y extracelular y en la nutrición, desarrollo y reproducción de los mismos, son el boro, magnesio, cinc, cobre, hierro y cobalto (Saez, 2000).

➤ **Relación C/N**

La relación carbono-nitrógeno (C/N), expresa las unidades de carbono por unidades de nitrógeno que contiene un material (Jaramillo, 2008). Esta relación es uno de los parámetros más importantes del compostaje, ya que estos dos elementos son esenciales para la nutrición de cualquier organismo y deben encontrarse en una proporción determinada para una buena degradación (Moreno y Moral, 2007); es crítica en la determinación del grado de descomposición de los residuos y debe ser establecida con base al carbono disponible.

Para un compostaje correcto en el que se aproveche y retenga la mayor parte del carbono y del nitrógeno, la relación C/N del material de partida debe estar en el rango de 25 a 35 (Trejo, 1999). Si es más alta, los tiempos de fermentación serán más prolongados, pues los microorganismos deben oxidar el exceso de C reduciendo la velocidad del proceso. Por el contrario, si esta relación es baja, se origina una degradación rápida del material, pero el exceso de nitrógeno se desprende en forma amoniacal, generando la pérdida del N que es el nutriente fundamental para los cultivos (Thompson, 1988).

➤ **pH**

El control de este parámetro es importante para evaluar el ambiente microbiano y la estabilización de residuos (Tchobanoglous, 1994). El valor del pH, al igual que la temperatura varía con el tiempo y el proceso de compostaje. De acuerdo a Saez (2000), el pH ideal se encuentra entre 6.5 y 8.0, sin embargo, la capacidad del proceso hace posible un rango más amplio de 5.5 a 9.0 (OMS, 1985; Dalzell, 1991).

Para conseguir una población microbiana variada al inicio del compostaje, se debe trabajar a pH cercanos a siete, ya que valores extremos dificultan la puesta en marcha del proceso, la velocidad del mismo y el tipo de reacciones que se efectúan (Moreno y Moral, 2007).

La evolución del pH en el proceso presenta tres fases: durante el inicio del compostaje, el pH disminuye debido a la acción de los microorganismos sobre la materia orgánica más lábil produciéndose la liberación de ácidos orgánicos. Posteriormente, se origina una progresiva alcalinización del medio, debido a la pérdida de los ácidos orgánicos y a la generación de amoníaco procedente de la descomposición de las proteínas (Barrena, 2006). Por último, el pH tiende a la neutralidad al formarse compuestos húmicos con propiedades tampón.

2.4 El compost

El compost es un material orgánico universalmente reconocido por su valor como acondicionador de suelos, por su contenido en nutrientes, oligoelementos de lenta liberación y por su contenido en materia orgánica. Es un supresor de fitoenfermedades por el contenido y diversidad de microorganismos que contiene (Gómez y Estrada, 2005), es rico en sustancias no biodegradables de origen y componentes biológicos cuya composición depende de la degradación y maduración que hayan sufrido los materiales sometidos al compostaje (Comando, 2006).

2.4.1 Madurez

El compost ejerce una influencia positiva por su capacidad para suministrar nutrientes a las plantas y mejorar las propiedades del suelo. Pero la aplicación de compost inmaduros, disminuye el rendimiento de muchas especies vegetales y cultivos al inhibir la germinación de semillas y afectar el crecimiento de las plantas debido a compuestos fitotóxicos presentes en éstos (Iglesias y Pérez, 1989).

El tiempo de compostaje depende del material de partida y del uso que se le dará al producto. En todos los casos existen indicadores de la finalización de proceso, como los métodos de observación, en los cuales se toma en cuenta aspectos tales como el olor, color y temperatura. Sin embargo, éstos sólo dan una idea aproximada de la madurez de un compost.

De acuerdo a Peña (2002), un producto maduro obtenido del compostaje debe tener ausencia de olor desagradable y presentar un olor similar a la tierra húmeda, debe sufrir un proceso de oscurecimiento o melanización hasta transformarse en un producto de color café oscuro o casi negro y además, presentar una estabilidad en la curva de temperatura, es decir, que después de las distintas fases de aumento y disminución, ésta se estabilice con la ambiental sin variar con el volteo del material.

Otros autores han relacionado la madurez del compost con las características de los compuestos húmicos presentes en el mismo, principalmente con su grado de polimerización, tasa de extracción y su riqueza en el compost, empleando como índice de madurez la relación carbono ácidos fúlvicos/ carbono ácidos húmicos, que debe de disminuir a lo largo del proceso (Iglesias y Pérez, 1989).

Dentro de los análisis químicos, la relación C/N es un buen indicador del final del proceso. Durante el compostaje la relación C/N disminuye gradualmente debido a que cuando los microorganismos consumen la materia orgánica, dos terceras partes del carbono que ésta contiene son desprendidas como dióxido

de carbono y la tercera parte restante es incorporada junto con el nitrógeno en las células microbianas, lo que refleja la descomposición de la materia orgánica.

Un compost maduro presenta una relación C/N menor de 20:1 y lo más cercano a 15 (Bonilla y Mosquera, 2007), aunque puede ser superior dependiendo de la naturaleza del material de partida, ya que en materiales con alto contenido de lignina y celulosa, gran parte del carbón orgánico al encontrarse en formas resistentes no puede ser utilizado de inmediato por los microorganismos (Domínguez, 2010).

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) proporciona información relativa a la potencialidad de un compost para retener nutrientes, de su capacidad para inmovilizar sustancias fitotóxicas y de amortiguamiento en cambios bruscos de pH, pero también funciona como un indicador de la madurez de un compost, ya que diversos estudios han demostrado que la CIC aumenta a medida que aumenta el grado de estabilidad de la materia orgánica (Peña, 2002).

Algunos ensayos biológicos también pueden ser válidos, tal es el caso de la determinación de consumo de oxígeno, el desprendimiento de dióxido de carbono, recuento de microorganismos indicadores y bioensayos de germinación o de crecimiento vegetal. Estos últimos, son los más frecuentemente empleados para evaluar la madurez del compost, y se basan en el efecto negativo que provoca la aplicación de compost inmaduros sobre la germinación de las semillas y crecimiento de plántulas debido a la presencia de compuestos fitotóxicos, puesto que un compost inmaduro inhibe el crecimiento de las plantas y el maduro da lugar al crecimiento satisfactorio de las mismas (Iglesias y Pérez, 1989).

2.4.2 Calidad

La composición de un compost está determinada por la suma de distintas propiedades y características que dependen en gran medida del desarrollo del

proceso, del contenido nutricional del material de partida y de las posibles pérdidas o transformaciones a lo largo del mismo.

De acuerdo a (Moreno y Moral, 2007), en general los requerimientos de calidad de un compost deben ir dirigidos a conseguir un aspecto y olor aceptable, a una higienización correcta, a la eliminación de impurezas y contaminantes a nivel trazas y al contenido de componentes agronómicamente útiles.

Diferentes sectores implicados en la transformación de residuos orgánicos y consumidores de enmiendas orgánicas de suelos han elaborado una serie de normas que establecen parámetros para la utilización y comercialización de compost, sin embargo, actualmente no existe una norma internacional para establecer su calidad. Además la mayoría de las normas y/o legislaciones que reglamentan la producción de estos productos, frecuentemente se enfocan al contenido de metales pesados, dando poca importancia a parámetros agronómicos. Por lo tanto, la calidad del producto está en función del uso que se le dé a éste y a la evaluación del mayor número de parámetros posibles (Soliva, 2001).

2.4.3 Normatividad

En México, los requisitos que deben cumplir este tipo de productos se establecen en la NMX-FF-109-SCFI-2007 que reglamenta la elaboración de humus de lombriz, que especifica las características que debe tener el compost proveniente de un proceso particular, por lo tanto estos criterios no pueden ser aplicados para el compost obtenido en un proceso tradicional.

Por otra parte, en el estado de México se utiliza la norma NTEA-006-SMA-RS-2006, la cual es una norma técnica estatal que establece los requisitos para la producción de mejoradores de suelos elaborados a partir de residuos orgánicos (Cuadro 1). Ésta se apega a los parámetros establecidos en diferentes partes del mundo en las que se produce y comercializa éste producto, pero al no ser de carácter nacional, generalmente se recurre a normas extranjeras.

Cuadro 1. Características fisicoquímicas y sanitarias de un compost

Característica	Rango
pH	6.5 - 8.0
Materia orgánica	> 15 %
Relación carbono-nitrógeno	< 12
Fósforo	> 0.10 %
Potasio	> 0.25 %
Relación potasio-sodio	> 2.5
Parámetros microbiológicos	
Hongos fitopatógenos	ausente
Huevos de helmintos/g en base seca	< a 10
Coliformes fecales NMP/g en base seca	< a 1000
<i>Salmonella sp/g</i> en base seca	< a 3
Contenido de impurezas (tamaño máximo permisible)	
Plástico y/o película	≤ 0.05
Vidrio y/o metales y/o plásticos rígidos	≤ 0.05
Metales pesados (límite máximo permisible en ppm)	
Arsénico	≤ 5.0
Cadmio	≤ 1.0
Cromo hexavalente	≤ 5.0
Cobre	≤ 30.0
Plomo	≤ 5.0
Níquel	≤ 90.0
Zinc	≤ 90.0

Fuente: NTEA-006-SMA-RS-2006.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) establece una amplia lista de parámetros para determinar la calidad de un compost con fines de comercialización (Cuadro 2). Sin embargo, no en todos los casos se puede establecer un intervalo de valores adecuados o contenidos máximos o mínimos ya que no se trata de un fertilizante mineral. En todo caso se deben escoger aquellos parámetros que puedan proporcionar información, tener en cuenta la viabilidad de la aplicación y conocer el tratamiento del cual se obtuvo (Soliva, 2001).

Cuadro 2. Características físicas, químicas y biológicas de un compost

Característica	Rangos normales
Contenido de humedad (%)	30 - 50
Materia inerte (%)	30 - 70
Contenido orgánico (%)	10 - 30
pH	6 - 9
Tamaño máximo de partículas (mm)	2 - 10
Elementos mayores (mg/kg de materia seca)	
Nitrógeno	0.1 - 1.8
Fósforo	0.1 - 1.7
Potasio	0.1 - 2.3
Sulfuro	0.5 - 3.0
Alcalinidad	-
Sales totales	-
Metales pesados (mg/kg de materia seca)	
Boro	60 - 360
Cadmio	15 - 40
Cobre	90 - 260
Hierro	8 000 - 15 000
Mercurio	1 - 5
Magnesio	300 - 1 300
Molibdeno	10
Plomo	200 - 400
Zinc	800 - 1 200

Fuente: OMS (1995).

III. JUSTIFICACIÓN

En México se utilizan alrededor de 1000 productos forestales no maderables que incluyen hojas, frutos, cortezas y fibras, los cuales se obtienen de gran variedad de especies distribuidas en los diferentes ecosistemas presentes en el territorio nacional (SEMARNAT, 2009). Una de estas especies es el orégano *Lippia graveolens* HBK., que además de contribuir a la retención y formación de suelos en zonas erosionadas y de proporcionar refugio y alimento a diversas especies animales, representa una importante fuente de ingresos para muchos recolectores mexicanos (Angulo *et al.*, 2005).

Actualmente México exporta más de 6,500 toneladas de hoja seca de orégano, de las cuales el estado de Durango contribuye con el 25% del total nacional, procedente de 15 municipios, generando divisas por alrededor de 40 mdp anuales. Una pequeña cantidad de esta producción, se utiliza para extraer el aceite esencial en diversos equipos; algunos de ellos con una capacidad de procesamiento aproximada de 200 kg de hoja seca por día. De este proceso se generan aproximadamente 98 % de residuos entre bagazo de hoja y tallos, los cuales comúnmente se queman a cielo abierto o se depositan en sitios no regulados contribuyendo negativamente en el ambiente.

En la actualidad existen diferentes investigaciones de la hoja de orégano, orientadas principalmente a la extracción del aceite esencial y obtención de compuestos con propiedades antimicrobianas, antialérgicas, antiinflamatorias, estrogénicas, entre otras (González, 2007), pero son escasos los estudios sobre tallos y ramas.

Por lo anterior, esta investigación se realizó con la finalidad de aprovechar los residuos de orégano para obtener compost que contribuya a mejorar la textura del suelo, adicionar nutrientes y a preservar el ambiente, y que en un futuro cercano repercuta en el ingreso económico de las familias de las zonas recolectoras de orégano.

IV. OBJETIVOS

4.1 GENERAL

Aprovechar los residuos de orégano (*Lippia graveolens* HBK. s.l.) que se generan en la extracción del aceite esencial para producir compost.

4.1.1 ESPECÍFICOS

- Realizar la caracterización química y biológica de los residuos de orégano provenientes del proceso de extracción del aceite esencial.
- Establecer y evaluar el compostaje de los residuos generados del proceso de aprovechamiento del orégano.

V. HIPÓTESIS

Los residuos generados del proceso de aprovechamiento del orégano pueden ser utilizados para producir compost de calidad.

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 Material botánico de estudio

Se trabajó con los residuos de orégano (tallos) generados en la colecta realizada por Flores (2009), en dos localidades del municipio de San Francisco del Mezquital Durango: El Troncón y Santa Gertrudis. También con los residuos producidos en la extracción del aceite esencial de la hoja de orégano (bagazo) realizada en las instalaciones de CIIDIR-IPN Durango por la misma persona.

6.1.1 Residuos sometidos al compostaje

Los tallos de orégano sometidos al compostaje se molieron en un molino de cuchillas y se pasaron por un tamiz de malla 10 para homogeneizar el tamaño de partícula. El bagazo de hoja se secó a la sombra sin molerse.

Con la finalidad de aportar el nitrógeno necesario para los microorganismos durante la humificación y mineralización de la materia orgánica en el compostaje, se adicionó estiércol fresco de ganado vacuno estabulado de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Juárez del Estado de Durango.

6.2 Diseño experimental

Los sistemas de compostaje se establecieron bajo un diseño experimental Lattice Simplex Centroid de tres factores y dos niveles. Donde los factores fueron los componentes sometidos al compostaje (hoja, tallo y estiércol) y los niveles la proporción en la que se agregó cada componente a la mezcla.

El experimento estuvo compuesto por siete tratamientos con tres repeticiones y cada unidad experimental contenía 2 kg en base seca de residuo o mezcla de residuos (Cuadro 3).

Cuadro 3. Composición de las mezclas en el compostaje

Tratamiento	Componente (%)		
	Bagazo	Tallo	Estiércol
I	100	0	0
II	0	100	0
III	0	0	100
IV	50	0	50
V	33.3	33.3	33.3
VI	0	50	50
VII	50	50	0

Testigo: I (bagazo), II (tallo), III (estiércol).

6.3 Caracterización del material vegetal

Para determinar el contenido de nutrientes, carga microbiana y metabolitos secundarios, se realizó la caracterización de los residuos sometidos al compostaje, mediante los siguientes análisis:

6.3.1 Análisis fitoquímico cualitativo

Para detectar de manera cualitativa la presencia de metabolitos secundarios que pudieran interferir en el compostaje, como alcaloides, taninos, fenoles, flavonoides, terpenoides y saponinas, se emplearon técnicas convencionales descritas por Domínguez (1979).

6.3.2 Análisis químico

Como parte de la caracterización química de los residuos se evaluaron los siguientes parámetros:

➤ ***Carbón orgánico total***

El contenido de carbón orgánico total (COT) se estimó de acuerdo a la relación propuesta por New Zealand Researchers (Haug, 1993), donde el contenido de cenizas se determinó por el método de ignición a 550 °C por 6 h (Zhu *et al.*, 2004):

$$\% C = \frac{100 - \% \text{ Cenizas}}{1.8}$$

➤ ***Nitrógeno total micro-kjeldhal***

Las muestras se secaron a temperatura ambiente, se molieron en un molino de granos y pasaron por un tamiz de malla 60. Para la detección del nitrógeno se utilizó el método micro-Kjeldhal (NOM-021-RECNAT-2000).

➤ ***Fósforo total***

En crisoles a peso constante se pesaron 2 g de muestra, las cuales fueron secadas a 105 °C durante 24 h. Posteriormente se incineraron a 550 °C durante 6 h. Las cenizas obtenidas se trataron con 1 mL ácido nítrico (HNO₃) y agua caliente para su disolución, posteriormente se filtró la solución en papel Whatman # 42 y carbón activado. El filtrado se colectó en un matraz volumétrico de 50 mL y aforó con agua desionizada (Rodríguez y Rodríguez, 2002). En un vaso se tomó una alícuota de 5 mL de la muestra y se ajustó el pH a 7, para determinar el fósforo (P) por el método de Olsen (Etchevers, 1992). De manera simultánea se corrió la curva y blancos de reactivos.

6.3.3 Análisis microbiológico

La cuenta de los microorganismos viables presentes en los residuos de orégano (tallo y bagazo hoja) y estiércol se realizó por el método de recuento en placas. Para bacterias mesofílicas aerobias de acuerdo a Amador *et al.*, (1991), para hongos y levaduras por Avilés y Eusebio (1991) y para Coliformes fecales según lo descrito por Vicencio (2002).

6.4 El Compostaje

Los residuos sometidos al compostaje se mezclaron en contenedores de polietileno con capacidad de 17 L de acuerdo a lo descrito en la sección 6.3. Se les agregó la cantidad de agua necesaria para alcanzar el 50 % de humedad. Cada semana se aplicó aireación por volteo y se verificó el contenido de humedad. Cada tercer día se midió la temperatura ambiente, máxima y mínima, así como la temperatura interna de las mezclas para determinar las etapas del proceso (mesofílica, termofílica, de maduración y de estabilización). El compostaje se realizó durante 16 semanas en el invernadero del CIIDIR IPN Durango a partir del 24 de agosto al 07 de diciembre del 2010.

6.4.1 Monitoreo del proceso

Para evaluar la degradación de los residuos se tomó una muestra cada tres semanas de cada uno de los tratamientos, previa homogenización de las mezclas y se evaluó por duplicado:

➤ **pH y Conductividad eléctrica**

Se preparó un extracto de compost a una proporción 1:10 (muestra seca: agua destilada) y se agitó durante 1h a 180 rpm (Zhu *et al.*, 2004). La medición del pH se realizó con un potenciómetro marca ORION modelo 230. El extracto se

dejó en reposo por 24 h y posteriormente se filtró y se midió la conductividad eléctrica (CE) en un conductímetro marca ORION modelo 162.

➤ **Materia orgánica**

Por duplicado se evaluó el contenido de materia orgánica (MO) empleando la técnica de ignición descrita por Zhu *et al.*, (2004), mediante combustión seca a 550 °C durante 6 h.

6.5 Madurez de los compost

En extractos acuosos (1:10) de los compost se realizaron bioensayos de germinación con semillas de lechuga (*Lactuca sativa*, L), al inicio del proceso, a las 10 y 16 semanas para evaluar la madurez por medio del índice de germinación (Tiquia y Tam, 1998):

$$\text{PGR} = \frac{\text{No. de semillas germinadas en el extracto}}{\text{No. de semillas germinadas en el testigo}} \times 100 \dots \text{Ecuación 1}$$

$$\text{CRR} = \frac{\text{Elongación de radículas en el extracto}}{\text{Elongación de radículas en el testigo}} \times 100 \dots \text{Ecuación 2}$$

$$\text{IG} = \frac{\text{PGR} \times \text{CRR}}{100} \dots \text{Ecuación 3}$$

6.6 Características químicas, físicas y microbiológicas de los compost resultantes

Al finalizar el compostaje de los residuos se realizó la caracterización de los compost maduros mediante la determinación del contenido de nitrógeno (NOM-021-SEMARNAT-2000), fósforo (Etchevers, 1992) y potasio (NOM-021-SEMARNAT-2000) disponibles, relación C/N (Zhu *et al.*, 2004; Haug, 1993), materia orgánica (Zhu *et al.*, 2004), densidad aparente (De la Peña y Llerena,

2001) y carga microbiana (Amador *et al.*,1991; Avilés y Eusebio,1991; Vicencio, 2002) de cada tratamiento. Todos los análisis se realizaron por duplicado.

6.7 Análisis estadístico

Las diferencias entre tratamientos fueron obtenidas por un ANOVA y prueba de medias Fisher LSD, con un nivel de confianza de 95%, (Statistica ver 7.0, 1984-2004).

Para estudiar la influencia de la variación cuantitativa de los componentes que entraron a la mezcla (hoja, tallo y estiércol) se empleó el análisis Lattice Simplex Centroides utilizando el paquete estadístico Statgraphycs Plus 5.1.

6.8 Estimación del costo de producción del compost de residuos de orégano

Los recursos empleados para la obtención de un producto tienen una expresión monetaria resultante de la unión de los recursos materiales (máquinas, muebles, materias primas, herramientas, etc.) con los recursos humanos (personal) y los recursos financieros (Rodríguez y Córdova, 2006).

El costo de producción de un compost depende del método de procesamiento utilizado y del volumen de residuos sometidos al compostaje, de la tecnología utilizada, de la disponibilidad de la materia prima, de la mano de obra y del tiempo del procesado (Röben, 2002). Tomando en cuenta lo anterior, la estimación del costo de producción de los compost se realizó utilizando como base de cálculo una tonelada de residuos en base seca y tomando en cuenta el costo de operación y mantenimiento del proceso.

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 Caracterización de los residuos

Los parámetros evaluados en la caracterización de los residuos de orégano y estiércol sirvieron para conocer su composición elemental mediante la determinación del contenido de nutrientes y su actividad química y biológica. Para esto se realizaron los siguientes análisis:

7.1.1 Análisis fitoquímico cualitativo

Los resultados del análisis fitoquímico cualitativo realizado a los residuos de orégano se plasman en el cuadro 4.

Cuadro 4. Resultados del análisis fitoquímico de bagazo y tallos de orégano

Metabolito	Residuo	
	Bagazo	Tallo
Alcaloides	+	+
Antraquinonas	+	-
Saponinas	-	++
Fenoles y taninos	++++	++++
Esteroles libres insaturados o triterpenos	++++	++++
Flavonoides y antocianinas	++	+++

+Trazas, ++Presencia escasa, +++ presencia relativamente abundante, ++++Presencia abundante, - No detectado.

Estos resultados indican que la mayor concentración de metabolitos secundarios presentes, fue de compuestos fenólicos y triterpenoides. Resultados similares fueron los reportados por Henao (2009), quien encontró en extractos etanólicos de hojas de orégano la presencia de flavonoides, taninos, esteroles y alcaloides. Compuestos considerados de gran importancia

económica ya que son ampliamente utilizados en la fabricación de resinas, adhesivos, colorantes, herbicidas y más. Pero también, de acuerdo a Puente y García (2001) estos compuestos presentan actividad inhibitoria del crecimiento de plantas y de bacterias fijadoras de nitrógeno y nitrificantes del suelo.

7.1.2 Análisis químico

Las características químicas iniciales de los residuos sometidos al compostaje señalan que el bagazo de hoja tuvo los mayores porcentajes de nitrógeno total y fósforo, el estiércol el mayor pH y contenido de humedad y el carbono orgánico total lo presentó el tallo (Cuadro 5).

Cuadro 5. Características químicas del material utilizado en el compostaje

Residuo	COT	NTK	P	Humedad	pH
Bagazo	50.2	2.86	0.03	5.79	7.0
Tallos	54.0	0.76	0.01	4.47	6.5
Estiércol	30.5	1.93	0.19	31.08	8.4

COT = Carbón Orgánico Total; NTK = Nitrógeno Total Kjeldhal; P = fósforo.

El contenido de C, N, y P permitió conocer el balance de nutrientes en las mezclas de residuos sometidos al compostaje.

7.1.3 Análisis microbiológico

Para que el proceso de degradación de la materia orgánica se desarrolle de manera adecuada, Castro (2009) establece que los residuos sometidos a compostaje deben presentar una carga igual o mayor a mil unidades formadoras de colonias por gramo de muestra seca (UFC/ g ms) de microorganismos (bacterias, hongos, levaduras) que beneficien al proceso. En el cuadro 6 se muestra el número de UFC/g ms que presentó cada residuo.

Cuadro 6. Cuenta de microorganismos viables en residuos sometidos al compostaje

Residuo	Hongos	Levaduras	Bacterias	Coliformes F
	UFC/g ms			
Bagazo de hoja	5570	154000	174000	0
Tallos	2620	5250	50200	0
Estiércol	625	1040	77600	219

Los resultados indicaron que los residuos presentaban la carga microbiana suficiente para la degradación de los residuos, con más de 1000 UFC/g ms de hongos, levaduras y bacterias mesófilicas aerobias en conjunto. En el bagazo y tallos de orégano no se encontró la presencia de coliformes fecales y en el estiércol sólo había 219 UFC/g ms.

7.2 Monitoreo del proceso

7.2.1 Temperatura

El calor que se genera en el compostaje es un subproducto de la degradación de la materia orgánica y depende del tamaño de la pila, la humedad, la aireación y la relación C/N (Dalzell, 1991).

Durante el compostaje de los residuos se presentaron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) en la evolución de la temperatura interna de las mezclas (Cuadro 7). Siendo el tratamiento II (tallos) el que presentó un comportamiento significativamente diferente al resto de los tratamientos, con las temperaturas más bajas del proceso (Cuadro 8).

Cuadro 7. Resultados del análisis de varianza practicado a la temperatura interna de las mezclas durante el compostaje

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	P
Tiempo	15	7873	525	71.5	0.00000
Tratamiento	6	144	24	3.3	0.00000
Tiempo*tratamiento	50	372	4	0.6	=0.99960
Error	895	6571	7		

p<0.05.

Los tratamientos iniciaron con una temperatura entre los 32 y 34 ° C, la cual fue aumentando con el paso de los días debido a la actividad metabólica de los microorganismos y a su multiplicación, hasta alcanzar en la segunda semana las temperaturas más elevadas del proceso (39.9 °C) sin lograr llegar a la fase termofílica (con temperaturas mayores a 40 °C), la cual de acuerdo a Larco (2004) se presenta entre las primeras 24 a 48 h, alcanzando temperaturas que oscilan entre 40 a 55 °C.

Cuadro 8. Valores de la temperatura de las mezclas durante el compostaje

Temperatura (°C)/semana	Tratamiento							*DE
	I	II	III	IV	V	VI	VII	(Tiempo)
1	33.6	32.8	32.4	32.8	32.1	31.9	33.1	gh
2	39.9	39.0	39.6	39.9	39.6	39.9	39.8	a
3	36.5	35.5	36.7	38.3	36.1	38.5	37.8	bc
4	36.9	36.5	36.8	37.4	36.7	36.0	36.5	cd
5	32.5	30.8	31.6	32.3	33.4	33.3	31.3	hi
6	34.1	33.6	33.1	34.9	33.9	35.0	34.1	e
7	33.5	32.1	32.2	33.3	33.1	33.9	33.4	fg
8	33.7	31.0	31.7	33.8	32.1	33.1	33.8	fgh
9	34.7	33.4	36.2	35.7	36.1	37.6	36.4	d
10	38.2	37.3	37.7	37.2	37.9	37.1	37.9	b
11	36.3	36.4	36.2	36.5	36.6	36.0	37.9	cd
12	32.6	32.8	33.5	34.1	34.4	34.7	33.4	ef
13	31.0	31.1	31.7	31.6	31.0	31.8	31.8	ij
14	28.8	28.5	29.6	29.2	30.1	30.2	30.2	k
15	31.1	30.8	30.5	30.3	30.0	30.2	31.6	j
16	30.5	30.8	30.7	30.8	31.5	31.0	30.6	j
DE (tratamiento)	a	b	ab	a	a	a	a	

I (Bagazo), II (Tallo), III (Estiércol), IV (Bagazo + Estiércol), V (Bagazo + Tallo + Estiércol), VI (Tallo + estiércol) y VII (Bagazo + Tallo). DE: Diferencias Estadísticas. (Fisher LSD $p < 0.05$)

Posteriormente se observaron incrementos y decrementos de esta variable en los tratamientos (Figura 2) debido a la acción microbiana en la degradación de la materia orgánica, pero fue a partir de la semana 11 que los tratamientos entraron en un periodo de reducción y estabilización, cuando la temperatura comenzó descender paulatinamente hasta alcanzar temperaturas similares a las iniciales. Las temperaturas máximas alcanzadas en los tratamientos durante el compostaje fueron relativamente bajas, probablemente por el pequeño volumen de residuos sometidos a la degradación (2K de residuos en base seca por tratamiento), que facilitó la difusión del calor. Sin embargo, de acuerdo a Trejo (1999) un sistema de compostaje puede funcionar a temperaturas mesofílicas 30-40°C o termofílicas (40-75°C).

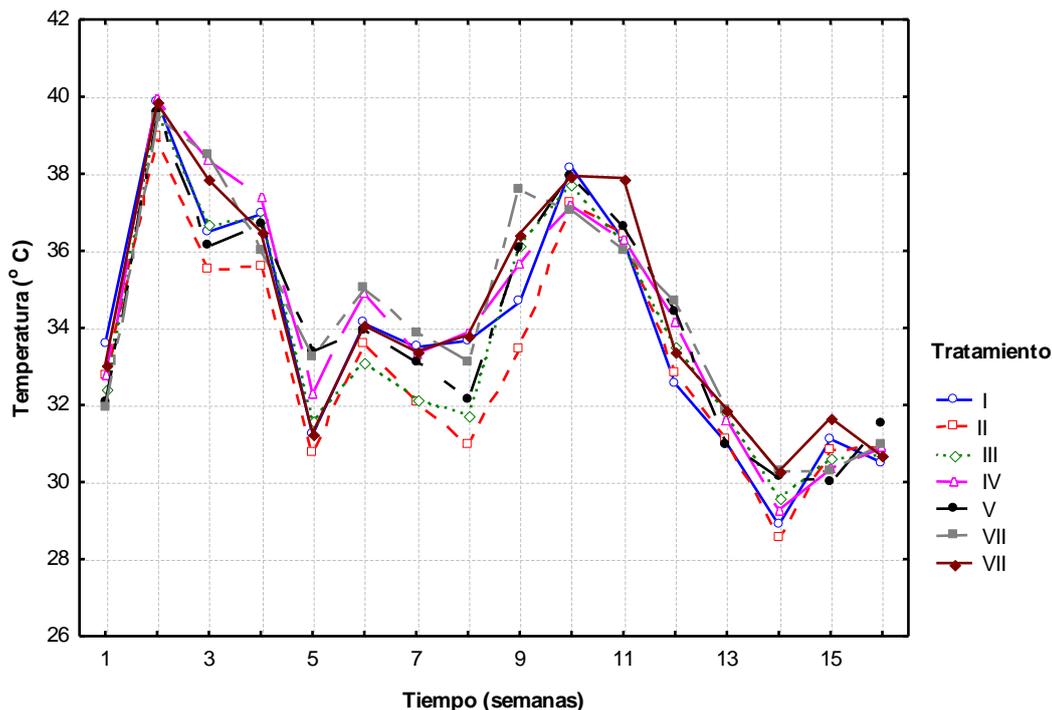


Figura 2. Evolución de la temperatura en los tratamientos I (Bagazo), II (Tallo), III (Estiércol), IV (Bagazo + Estiércol), V (Bagazo + Tallo + Estiércol), VI (Tallo + estiércol) y VII (Bagazo + Tallo) durante el compostaje.

Por otra parte, los cambios en la temperatura ambiente, máxima y mínima tuvieron una influencia significativa ($p < 0.05$) sobre la dinámica de la temperatura de los tratamientos (Cuadro 9), lo cual coincide con lo reportado por Santamaría y Ferrera (2002), quienes observaron que la temperatura de los compost varía paralelamente a los cambios de temperatura ambiente, particularmente cuando los materiales han superado la fase de agotamiento o termofílica.

Cuadro 9. Correlación de la temperatura de las mezclas con relación a la temperatura ambiente, máxima y mínima

Temperatura	R^2	t	P
Ambiente	0.41	26.6	0.00000
Máxima	0.30	20.9	0.00000
Mínima	0.13	12.9	0.00000

$p < 0.05$

7.2.2 pH

En el transcurso del compostaje los tratamientos que no contenían estiércol (I, II y VII) presentaron valores de pH significativamente diferentes ($p < 0.05$) respecto al resto de los tratamientos (Figura 3). Presentando la mayor diferencia el tratamiento II (tallo) con los valores de pH más bajos (6.5 al inicio y 7.68 al finalizar el proceso), resultados que coinciden con los reportados por Domínguez (2010) quien afirma que este comportamiento es característico de compost procedentes de materias primas vegetales poco mineralizadas como las cortezas.

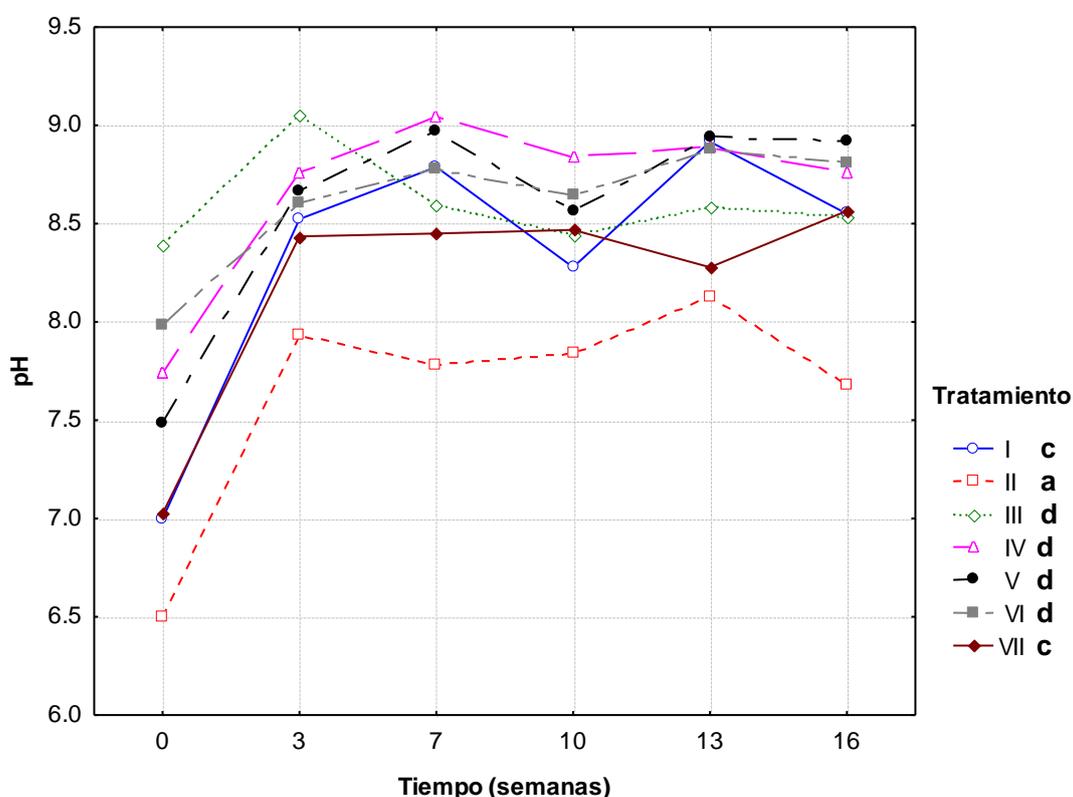


Figura 3. Comportamiento del pH durante la degradación de los residuos en los tratamientos I (Bagazo), II (Tallo), III (Estiércol), IV (Bagazo + Estiércol), V (Bagazo + Tallo + Estiércol), VI (Tallo + estiércol) y VII (Bagazo + Tallo). Letras desiguales en la figura indican diferencias estadísticas entre tratamientos ($p < 0.05$).

El pH aumentó a lo largo del proceso, alcanzando valores superiores a 8.5 en la mayor parte de los tratamientos para finalmente estabilizarse entre 8.5 y 9.0

sin mostrar diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$), a excepción del tratamiento II (Cuadro 10).

Cuadro 10. Valores iniciales y finales de pH en los tratamientos

Tratamiento	pH	
	Inicial	Final
I	7.00b	8.55ef
II	6.50 a	7.68c
III	8.39e	8.53ef
IV	7.74c	8.76fg
V	7.49c	8.92g
VI	7.98d	8.81fg
VII	7.03b	8.57ef

I (Bagazo), II (Tallo), III (Estiércol), IV (Bagazo + Estiércol), V (Bagazo + Tallo + Estiércol), VI (Tallo + estiércol) y VII (Bagazo + Tallo). Letras desiguales entre filas y columnas indican diferencias estadísticas entre tratamientos (Fisher LSD $p < 0.05$).

De acuerdo a lo anterior la evolución del pH en los tratamientos estuvo influenciada por la composición de los materiales de partida. El análisis lattice simplex realizado a los datos (anexo A), demostró que los tres componentes que entraron a las mezclas y sus combinaciones contribuyeron significativamente ($p < 0.01$) a la respuesta del pH siendo el modelo cuadrático el que en la semana 0, 3, 10, 13 y 16 del proceso tuvo un mejor ajuste con un R^2 de 38.0, 41.6, 58.3, 22.8, y 58.7 respectivamente.

En la semana 7 el modelo que mejor se ajustó a los datos fue el cúbico especial, con un R^2 igual a 20.7.

También con base este análisis, se puede establecer que el estiércol y el bagazo de hoja fueron los componentes que contribuyeron en mayor proporción a la respuesta del pH (Figura 4), la cual presentó valores óptimos en la semana 0, 3, 7, 10, 13 y 16 de 8.38, 9.11, 8.92, 8.79, 8.98 y 8.92 respectivamente.

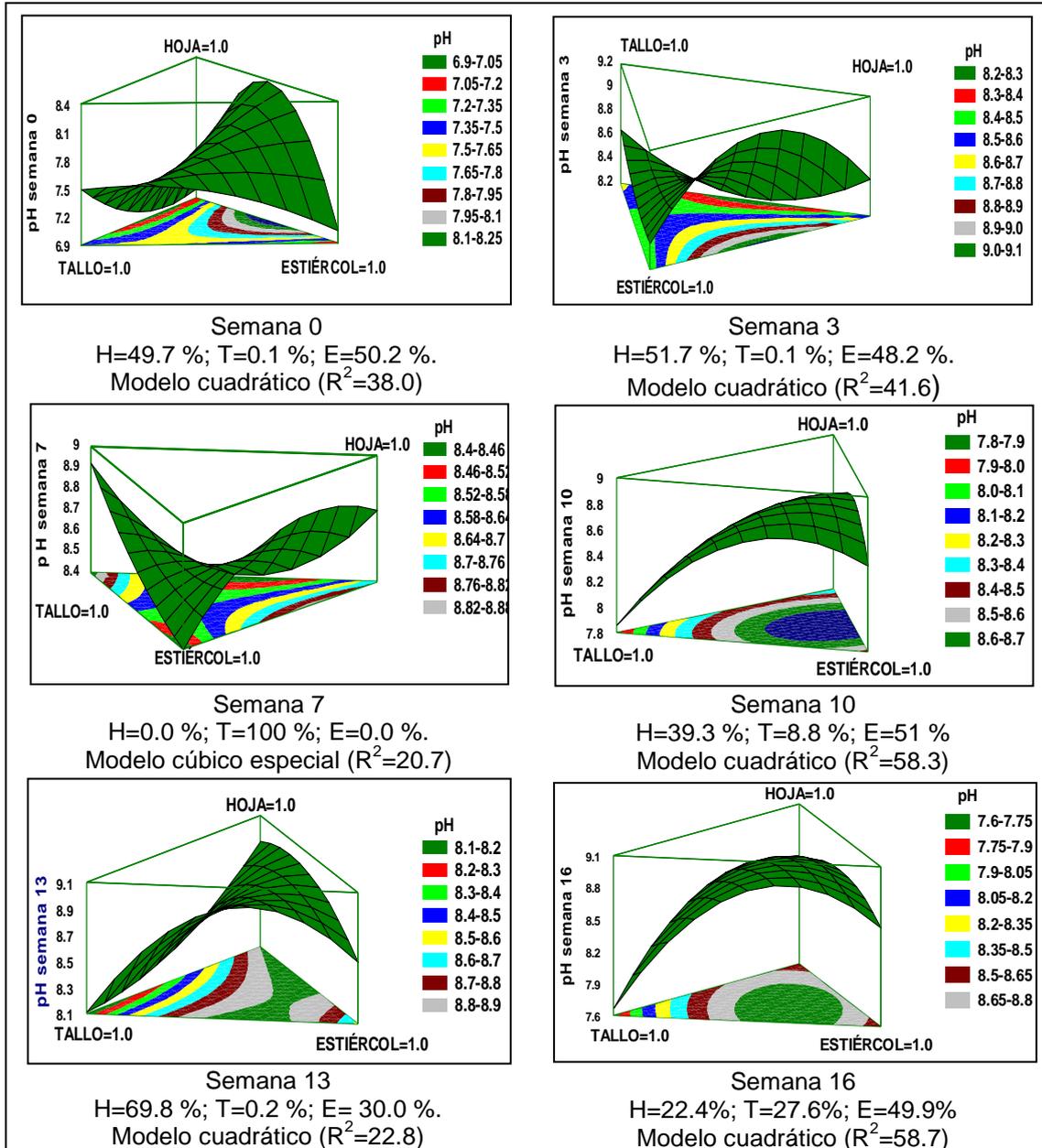


Figura 4. Superficies de respuesta y contribución de cada residuo a la respuesta del pH durante el compostaje: H- bagazo de hoja; T- tallo; E- estiércol.

El estiércol contribuyó al valor de esta variable con un 50.2, 48.2, 51.9, 30.0 y 49.9% en la semana 0, 3, 10, 13 y 16 probablemente por la generación de amoníaco, factor que de acuerdo a investigaciones realizadas por Thompson (1988) eleva el valor del pH. Por su parte, la contribución del bagazo de hoja a la respuesta de pH para estas mismas semanas fue de 49.7, 51.7, 39.3, 69.8 y 22.4% respectivamente, en este caso por la posible presencia de metabolitos secundarios de carácter básico que se encontraba de forma disponible.

Cabe destacar que aunque los valores de pH discutidos arriba son considerados óptimos en el análisis lattice simplex por ser los más altos durante el proceso, y además se encuentran dentro de los rangos establecidos por la Organización Mundial de la Salud (6-9), deben ser tomados en cuenta al momento de aplicar los compost resultantes, ya que de acuerdo a Domínguez (2010), una acidez o alcalinidad excesivas, pueden dañar las raíces de las plantas al inhibir el desarrollo y crecimiento de las mismas.

7.2.3 Conductividad eléctrica

El valor de ésta variable aumento con el paso de los días debido a la mineralización de la materia orgánica, mostrando diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos, sobre todo en aquellos que contenían estiércol (Figura 5).

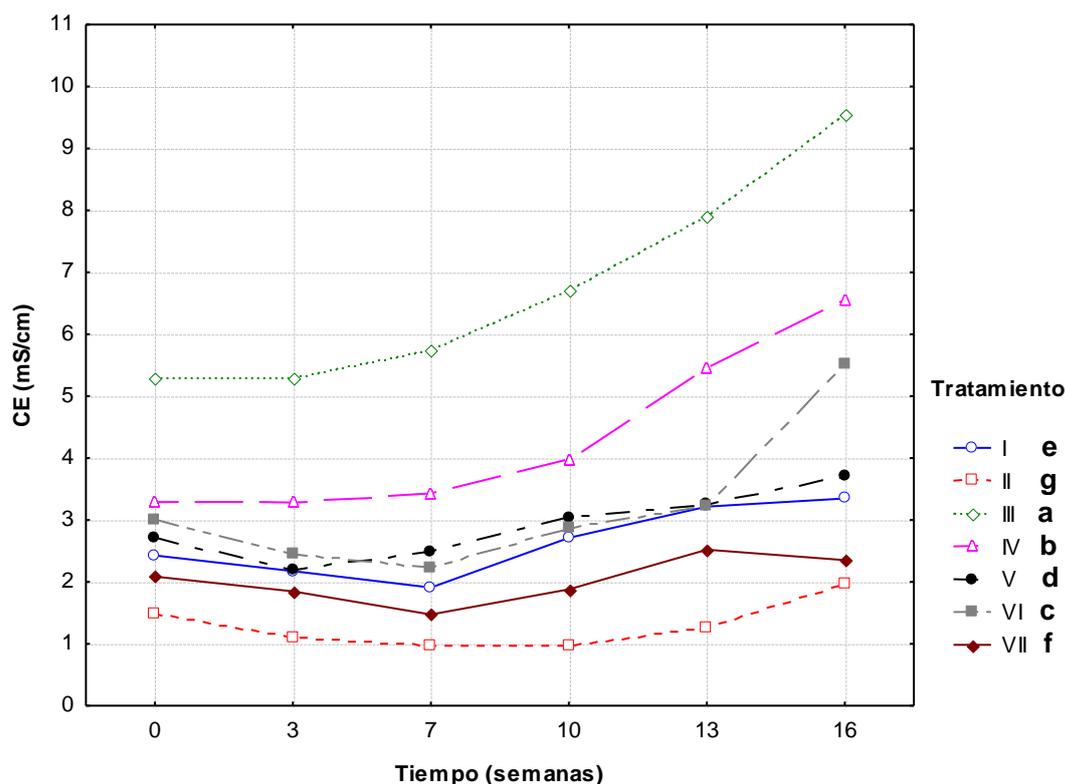


Figura 5. Comportamiento de la CE durante el compostaje de los residuos en los tratamientos I (Bagazo), II (Tallo), III (Estiércol), IV (Bagazo + Estiércol), V (Bagazo + Tallo + Estiércol), VI (Tallo + estiércol) y VII (Bagazo + Tallo).

Al finalizar el proceso la CE en los compost de los tratamientos III, IV, V y VI fueron las más elevadas (Cuadro 11) y de acuerdo a la clasificación de Domínguez (2010) son extremadamente salinos (>3.40 mS/cm), el compost de los tratamiento I y VII fueron muy salinos (2.25-3.40 ms/cm) y el compost del tratamiento II salino (1.8 y 2.25 mS/cm).

Cuadro 11. Valores inicial y final de CE en los tratamientos

Tratamiento	CE (mS/cm)	
	Inicial	Final
I	2.43 c	3.35 f
II	1.49 a	1.95 b
III	5.30 h	9.54 j
IV	3.29 f	6.55 i
V	2.72 d	3.70 g
VI	3.01 e	5.52 h
VII	2.09 b	2.35 c

I (Bagazo), II (Tallo), III (Estiércol), IV (Bagazo + Estiércol), V (Bagazo + Tallo + Estiércol), VI (Tallo + estiércol) y VII (Bagazo + Tallo). Letras desiguales entre filas y columnas indican diferencias estadísticamente significativas (Fisher LSD $p < 0.05$).

El análisis lattice simplex indica que los factores experimentales bajo estudio (bagazo, tallo y estiércol) y sus combinaciones contribuyeron significativamente ($p < 0.01$) a la respuesta de la CE durante el proceso y fue el modelo lineal el que mejor se ajustó a los datos ($p < 0.05$) en las semanas 0, 3, 7, 10, 13 y 16 presentando un R^2 de 92.6, 83.0, 89.2, 90.6, 85.0 y 95.8 respectivamente (anexo B).

Los valores óptimos de CE dados por el análisis lattice para los tiempos arriba mencionados fueron de 5.30, 5.31, 5.71, 6.68, 7.93 y 9.54 mS/cm respectivamente, y tal como se muestra en la figura 6, es el estiércol el componente responsable de estos valores.

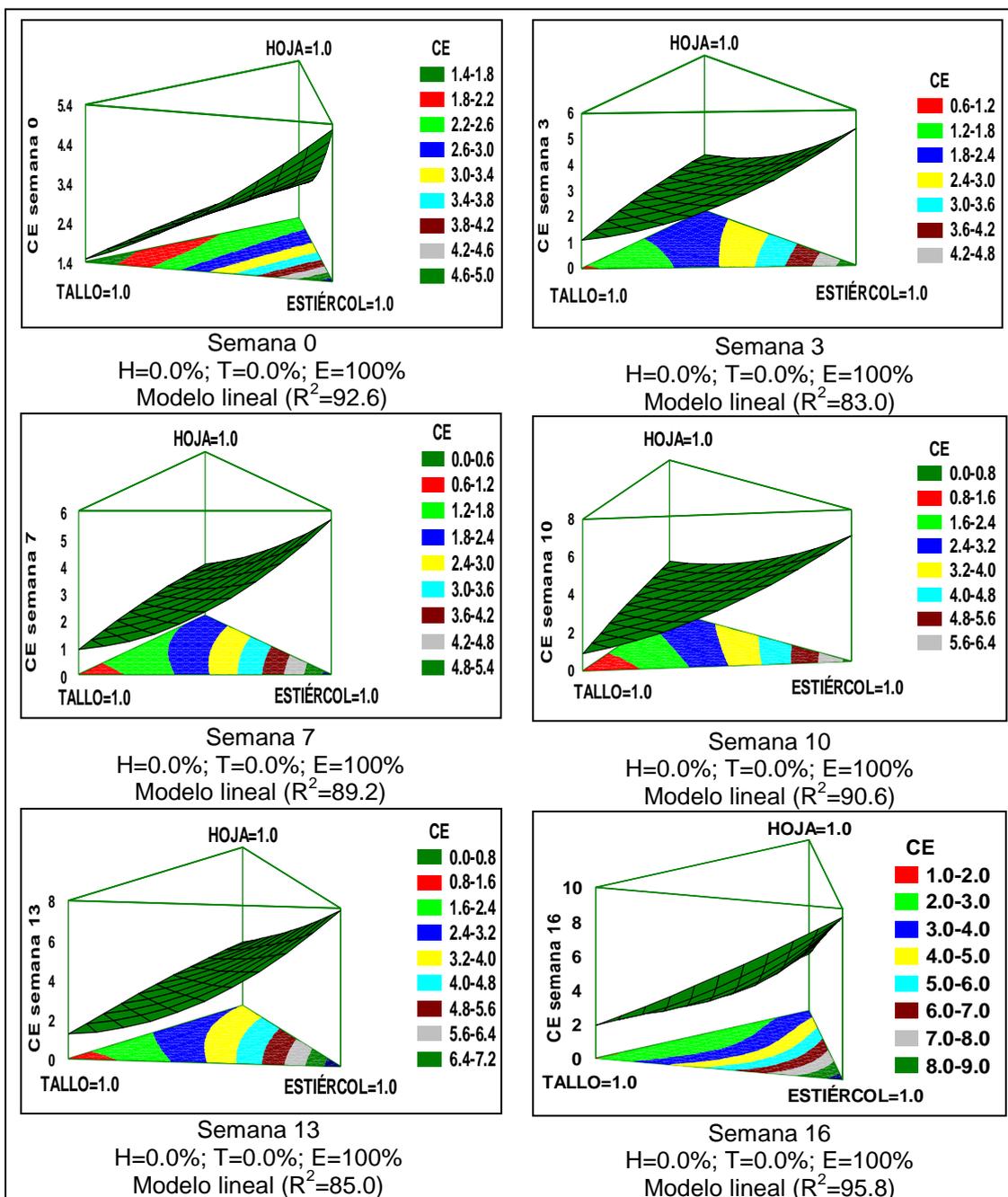


Figura 6. Superficies de respuesta, y contribución de cada residuo a la respuesta de la CE durante el compostaje. H- bagazo de hoja; T- tallo; E- estiércol.

De acuerdo a lo anterior, al finalizar el compostaje (semana 16) el valor óptimo de la CE fue mayor a los 9.5 mS/cm, valor que supera a los obtenidos del compostaje de otros materiales como residuos de caña y grasas, donde la CE reportada es de 3.09 y 1.40 mS/cm (Pérez, 2011; Ramírez, 2011). Probablemente como lo establece Salazar *et al.*, (2003) porque el estiércol de vaca puede contener más del 10 % de su peso en sales solubles, generando

una alta CE, hecho que impide que los compost resultantes puedan ser utilizados como sustrato único de cultivo ó en una proporción volumétrica relativamente alta. Por lo que su aplicación debe realizarse tomando en cuenta la CE de los demás componentes para evitar la salinización del suelo tal como lo establece Ramírez (2011).

7.2.4 Materia orgánica

El contenido de materia orgánica presentó diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$) en los tratamientos I, III, IV, V y VI durante el compostaje (Cuadro 12) debido a su mineralización y consecuente pérdida de CO_2 .

Cuadro 12. Reducción de materia orgánica durante el compostaje de los residuos y relación C/N inicial de los tratamientos

Tratamiento	Materia orgánica		Reducción %	C/N
	Inicial	Final		
I	90.47 g	86.50 f	4.00	18.60 a
II	97.20 h	96.60 h	0.60	64.90 e
III	54.90 b	38.40 a	16.50	19.30 a
IV	69.70 e	64.00 c	5.70	18.90 a
V	85.90 f	80.66 e	5.20	25.50 b
VI	77.89 e	71.70 d	6.20	31.70 d
VII	93.20 g	91.40 g	1.80	29.30 c

I (Bagazo), II (Tallo), III (Estiércol), IV (Bagazo + Estiércol), V (Bagazo + Tallo + Estiércol), VI (Tallo + estiércol) y VII (Bagazo + Tallo). Letras desiguales muestran diferencias estadísticamente significativas (Fisher LSD $p < 0.05$)

En el proceso de degradación de los residuos de orégano, la reducción de materia orgánica en aquellos tratamientos que no contenían estiércol (I, II, y VII) no fue significativa ($p < 0.05$) en comparación con aquellos que lo contenían (IV, V y VI). Estos resultados coinciden con los reportados por Domínguez (2010) quien afirma que la presencia del estiércol en camas vegetales, permite una mayor reducción de materia orgánica, debido al alto contenido en materia

orgánica degradable y a la incorporación de microorganismos que benefician al compostaje de los residuos.

De acuerdo al análisis lattice simplex (anexo C), todos los factores en estudio así como sus combinaciones contribuyeron significativamente ($p < 0.01$) a la respuesta del contenido de MO durante el compostaje. Con un nivel de confianza del 95%, en la semana 0 y 16 del proceso, el modelo lineal con un R^2 de 80.1 y 96.1 respectivamente fue el que presentó un mejor ajuste de los datos. En la semana 3, 7, 10 y 13 con un R^2 de 96.2, 96.1, 98.4 y 97.8 el modelo cuadrático fue el mejor.

Con base en este análisis los valores óptimos en la semana 0, 3, 7, 10, 13 y 16 fueron 98.7, 96.9, 96.5, 96.6, 96.5 y 98.5 respectivamente y como se muestra en la figura 7, el tallo de orégano fue el material que generó tales valores, lo cual puede ser atribuido a su composición, es decir, al poco contenido de cenizas y a un elevado contenido en compuestos de difícil degradación como ligninas y celulosas. Por lo tanto los compost obtenidos de aquellos tratamientos que contenían tallo de orégano sin estiércol, presentaron la menor reducción de MO (II= 0.60% y VII= 1.80%), sobre todo el tratamiento II debido a la alta relación C/N inicial (64.9) dando como resultado un compost con bajo contenido mineral y un alto contenido en materia orgánica recalcitrante.

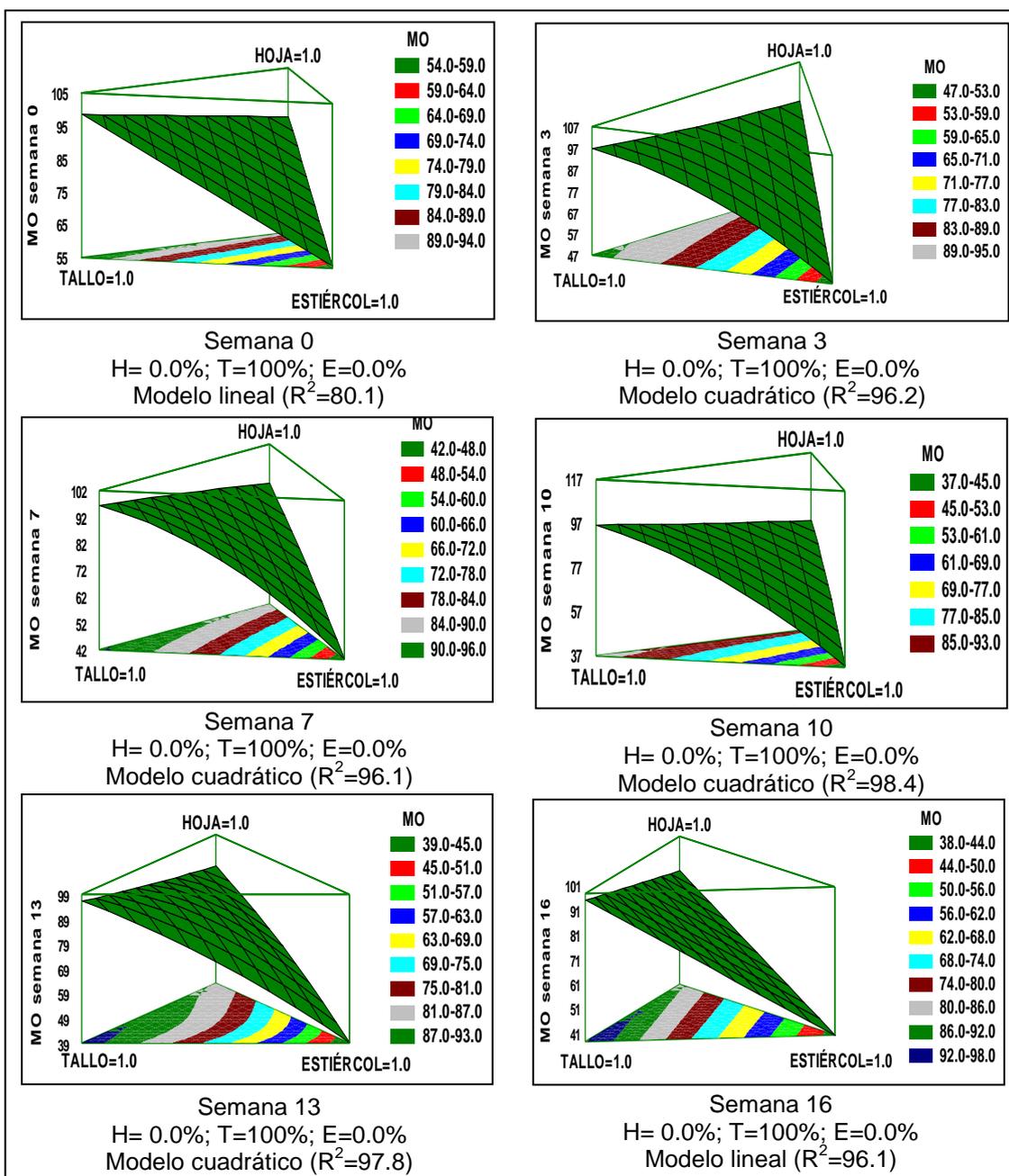


Figura 7. Superficies de respuesta, y contribución de cada residuo a la respuesta de la MO durante el compostaje. H- bagazo de hoja; T- tallo; E- estiércol.

7.3 Madurez de los compost

Al inicio del proceso la respuesta de las semillas a los extractos de las mezclas reveló la presencia de compuestos fitotóxicos (Cuadro 13), sobre todo en los tratamientos que contenían bagazo de hoja (I, IV, V y VII) probablemente porque estos residuos (bagazo) fueron sometidos a cocción durante la

extracción del aceite esencial, provocando la liberación de metabolitos secundarios causantes de toxicidad en el medio.

La presencia de estos compuestos en el bagazo de orégano coinciden con los resultados reportados por Zavala et al., (2006) quien encontró en el bagazo de hoja de orégano cantidades de fenoles totales equivalentes a 200 mg y de flavonoides totales equivalentes a 150 mg. Compuestos que de acuerdo a Puente y García (2001) son capaces inhibir o estimular el crecimiento de plantas, reducir la elongación de raíces, producir malformaciones en plántulas, entre otros.

Cuadro 13. Valores del Índice de germinación de los tratamientos durante el compostaje

Tratamiento	IG por semana		
	0	10	16
I	16.00 gh	33.72 fgh	92.20 cd
II	133.90 ab	149.10 ab	148.80 a
III	36.06 fgh	31.11 fgh	52.50 efg
IV	10.89 h	54.30 ef	95.90 cd
V	17.74 h	86.03 cd	119.20 bc
VI	51.80 ef	88.80 cd	94.30 cd
VII	6.98 h	70.92 de	92.80 cd

I (Bagazo), II (Tallo), III (Estiércol), IV (Bagazo + Estiércol), V (Bagazo + Tallo + Estiércol), VI (Tallo + estiércol) y VII (Bagazo + Tallo). Letras desiguales indican diferencias estadísticas (Fisher LSD $p < 0.05$)

En la semana diez del compostaje, los tratamientos aún presentaban compuestos tóxicos, excepto por el tratamiento II (compost de tallo), el cual desde el inicio del proceso, presentó un índice de germinación (IG) mayor al 100%.

Tiquia y Tam (1998) establecieron que un IG del 80% indica la desaparición de fitotoxinas en el compost, obteniéndose un material maduro, sin embargo para que pueda ser aplicado al suelo sin causar efectos adversos el IG debe ser

mayor o igual al 90% según Guerrero (2008) y Ramírez (2011). Con base en esto, para la semana 16 del experimento, los tratamientos alcanzaron su madurez óptima con un IG mayor del 90% excepto el tratamiento III (compost de estiércol) con un IG de 52.5% probablemente por un alto contenido de sales inorgánicas que causaron inhibición en la germinación de las semillas.

De acuerdo al análisis lattice simplex practicado a los datos (anexo D), todos los factores en estudio así como sus mezclas contribuyeron significativamente ($p < 0.01$) a la respuesta del IG durante el compostaje. En la semana 0 y 16 el modelo que mejor se ajustó a los datos fue el cuadrático con un R^2 de 78.5 y 54.5 respectivamente. En la semana 10 el modelo con mejor ajuste ($R^2 = 75.1$) fue el lineal (figura 8).

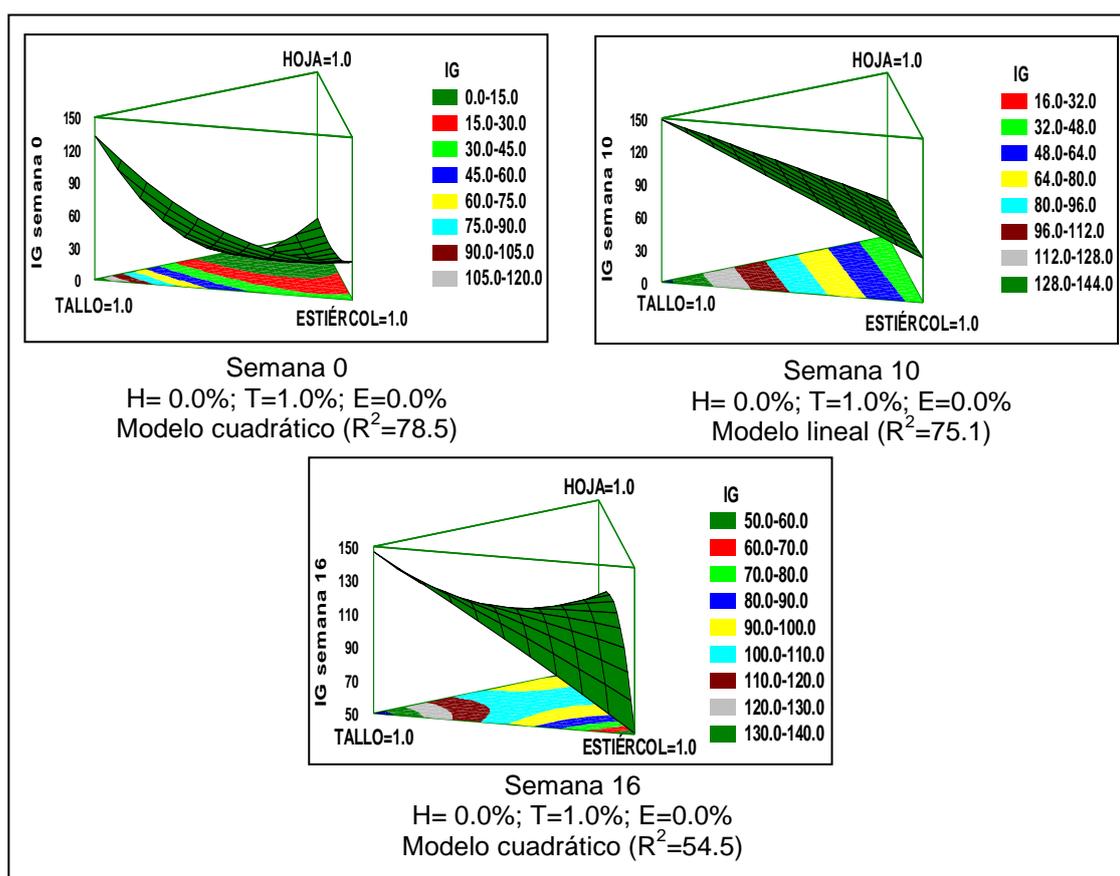


Figura 8. Superficies de respuesta, y contribución de cada residuo a la respuesta máxima del IG durante el compostaje. H- bagazo de hoja; T- tallo; E- estiércol.

El tallo de orégano es el componente que da la respuesta máxima durante el proceso, presentando valores óptimos de IG en la semana 0, 10 y 16 de 133.4, 149.1 y 147.0 % debido a que ese material estimuló el crecimiento de la raíz, además, el porcentaje de semillas germinadas fue alto desde el inicio (ver anexo E). Sin embargo, estos resultados no significan que los tallos de orégano y el compost de éste, no contengan compuestos tóxicos, sino que probablemente éstos aún se encontraban en forma estructurada, y debido a su baja degradabilidad, no lograron causar efectos adversos sobre la germinación de las semillas.

7.4 Propiedades físicas, químicas y biológicas de los compost

Las características físicas, químicas y biológicas de un compost reflejan su calidad como acondicionador del suelo. Las características físicas incluyen densidad, contenido de humedad, tamaño de partícula, contenido de semillas de malas hierbas, materiales y objetos ajenos. Las propiedades químicas se refieren a los nutrientes, pH, sales solubles y metales pesados y las biológicas a la madurez y carga microbiana en el producto final.

En el cuadro 14 se presentan los resultados obtenidos de los análisis físico, químico y biológico efectuados a los tratamientos y los valores ideales para cada uno de los parámetros evaluados.

Cuadro 14. Propiedades físicas, químicas y biológicas de los compost de residuos de orégano en comparación con valores de referencia

Parámetro	Unidades	Tratamiento							Referencia
		I	II	III	IV	V	VI	VII	
MO		86.50 e	96.60 g	38.40 a	64.00 b	80.60 d	71.70 c	91.40 f	30-75
NTK	%	4.02 a	0.79 e	2.00 f	2.69 b	2.23 c	1.71 d	2.07 f	> 0.10
P		0.04 c	0.01 e	0.19 a	0.11 b	0.07 d	0.11 d	0.03 e	> 0.10
K		1.07 d	0.72 a	2.13 b	1.90 bc	1.17 d	1.70 c	1.02 d	> 0.25
C/N		11.95 b	67.92 f	10.67 a	13.21 c	20.09 d	23.30 e	24.52 g	< 20.00
DA*	g/cm ³	0.16d	0.25e f	0.73 a	0.41 b	0.27 e	0.34 c	0.23 f	0.300-0.700
Hongos		3520 a	545 e	24.9 e	2490 c	518 d	454 de	2910 b	Nd*
Levaduras	UFC/g ms	2.28 d	5.33 d	0.00 c	0.63 b	0.19 c	3.55 a	1.76 d	Nd*
Bacterias		53000 a	36200 d	5350 e	57700 b	1610 e	23100 c	6170 de	Nd*
Coliformes f.		0.00 a	0.00 a	140 b	778 c	503 b	373 d	0.00 a	< 1000.00

Fuente: NTEA-006-SMA-RS-2006; Stoffella (2004); OMS (1985). Nd= No determinado. I (Bagazo), II (Tallo), III (Estiércol), IV (Bagazo + Estiércol), V (Bagazo + Tallo + Estiércol), VI (Tallo + estiércol) y VII (Bagazo + Tallo). Letras desiguales entre filas indican diferencias estadísticamente significativas (Fisher LSD $p < 0.05$).

7.4.1 Materia orgánica

El conocimiento del contenido en materia orgánica de un compost es fundamental, pues se considera el factor principal para determinar su calidad (Moreno y Moral, 2007). De acuerdo al cuadro anterior sólo los compost obtenidos de los tratamientos III, IV y VI se encontraron dentro del rango de valores de referencia (30-75%) con 34.8, 64.0 y 71.0 % respectivamente.

El resto de los tratamientos (I, II, V y VII) presentan un contenido de materia orgánica superior al 80 %, probablemente porque la despolimerización de la lignina de los residuos en el compostaje ocurre después de la fase termofílica Godden (1987), la cual no se cumplió en el compostaje de los residuos de orégano. Por lo tanto estos tratamientos al contener residuos con alto contenido en lignina y no alcanzar altas temperaturas, la reducción de materia orgánica no fue significativa, impidiendo un valor óptimo de ésta variable en esos tratamientos.

7.4.2 Relación C/N

La relación C/N al finalizar la degradación de los residuos presentó diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos, pero sólo los compost obtenidos de los tratamientos I, III y IV se ubicaron de acuerdo a la OMS (1985) dentro del rango de un compost maduro, con un valor inferior a 20 (I=11.95, III=10.67, IV=13.21), lo suficientemente estables para ser aplicados sin que ocasionen efectos adversos. Estos datos coinciden con los obtenidos del compostaje de mezclas de residuos de jardín con lodos residuales, donde la relación C/N reportada es de 12.2 (Flores, 2009^b).

7.4.3 Densidad aparente

Una buena densidad para un compost de acuerdo a Stoffella (2004) se considera entre 0.300 y 0.700 g/cm³. La densidad aparente para todos los tratamientos presentó diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$), pero son los

compost resultantes de los tratamientos III, IV y VI los que cumplen con los valores de referencia para esta variable, con 0.71, 0.41 y 0.34 g/cm³ respectivamente, además de coincidir con los valores propuestos Abad *et al.* (2004) citados por Flores (2009^b), quien establece que la DA de un compost debe ser inferior a los 0.40 g/cm³.

7.4.4 Carga microbiana

Los compost obtenidos del proceso de degradación, presentaron una carga microbiana mayor a 1,000 UFC/g ms entre hongos, levaduras y bacterias, lo cual, de acuerdo a Dalzell (1991) ayuda a controlar a microorganismos causantes de enfermedades patógenas en plantas, además de ayudar a descomponer o modificar herbicidas y pesticidas empleados en operaciones agrícolas.

Por otra parte, se detectó una cantidad de Coliformes fecales menor a 1000 UFC/g ms en los tratamientos con estiércol (III =140, IV = 778, V = 503E+02 y VI = 373), por lo que de acuerdo a Torres (2007), es recomendable considerar un proceso complementario de higienización del material, aunque puede ser usado en un suelo agrícola sin ninguna objeción de acuerdo a la OMS (1985), NOM-004-SEMARNAT-2002 y NTEA-006-SMA-RS-2006.

7.5 Estimación del costo de producción de los compost de residuos de orégano

Se tomó como base de cálculo una tonelada de residuos en base seca y considerando sólo los compost de residuos de orégano que presentaron las mejores características físicas, químicas y biológicas finales (tratamiento IV y VI).

El diagrama del compostaje de los residuos de orégano se muestra en la figura 9.

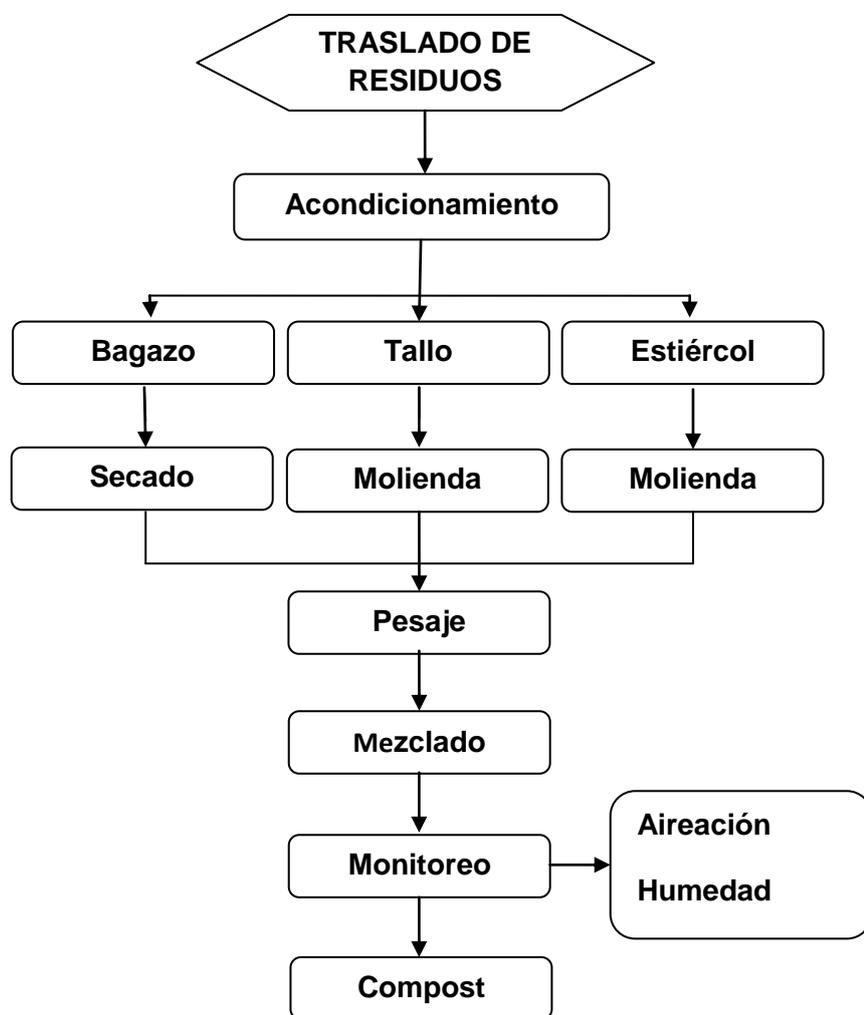


Figura 9. Diagrama de proceso: compostaje de residuos de orégano.

7.5.1 Composición de las mezclas

La cantidad de residuos en base húmeda por tratamiento y la cantidad de agua a agregar en cada tratamiento se muestran a continuación.

Cuadro 15. Composición de las mezclas y cantidad de residuos y agua a agregar

Tratamiento	Cantidad de residuo (Kg)			Cantidad de agua (m ³)
	Bagazo de hoja (H)	Tallo	Estiércol	
IV	530	0	725	1.22
VI	0	525	725	1.22

En el cuadro siguiente se muestran los costos que integran el valor de producción final de los compost arriba mencionados.

Cuadro 16. Costo de producción de los compost de residuos de orégano

Concepto	Cantidad	Costo unitario	Costo total
		\$	
Traslado de los residuos	Plan 200 km/día	800.00	800.00
Mano de obra	1 obrero (4h/sem) durante 17 semanas	7.08 h	481.95
Agua (inicial y riego)	3.22 m ³	9.00	28.98
		Total	1310.93

7.5.2 Traslado de los residuos sometidos al compostaje

El tallo de orégano fue trasladado desde dos localidades del municipio de San Francisco del Mezquital Durango (Santa Gertrudis y el Troncón localizadas a 80 km de la capital de estado aproximadamente) a las instalaciones del CIIDIR- IPN Durango y el estiércol desde las instalaciones de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Juárez del Estado de Durango, localizadas en el km 11.5 de la carretera Durango-Mezquital. Para esta actividad, y dado que el volumen y cantidad de residuos es grande, se consideró la renta de un camión de carga, con un costo diario de \$800.00 para un plan de 200 km.

El bagazo de hoja utilizado fue material conservado de investigaciones anteriores realizadas en el CIIDIR-IPN Durango por lo que no fue necesario su traslado.

7.5.3 Requerimientos de agua

La tarifa comercial de un metro cúbico de agua en la ciudad de Durango es de \$9.00. Con base en esta información y tomando en cuenta el requerimiento inicial, el costo por concepto de agua para cada tratamiento es de \$10.98. Sin embargo durante el compostaje existen pérdidas de agua por evaporación o infiltración, por lo tanto se consideró el costo de dos metros cúbicos más de agua por tratamiento para el riego de las pilas, resultando un total de \$28.98 por tratamiento.

7.5.4 Mano de obra

El cuidado y control del proceso requirió el trabajo de una persona que cumplió media jornada laboral por semana durante un periodo de 17 semanas. Tomando en cuenta que el salario mínimo en el estado de Durango (región C) es de \$56.70 por día (8 h), el costo total de mano de obra por tratamiento sería de \$481.95.

Al finalizar el compostaje, la cantidad obtenida de dos kilogramos de residuos en base seca de los tratamientos IV y VI fue de 0.688 y 0.675 K de compost respectivamente. Calculando para una tonelada de residuos en base seca, se obtendrían aproximadamente 344 kg de compost en el tratamiento IV y 337.5 kg de compost en el tratamiento VI con un costo unitario de producción de \$3.81/kg y \$3.88/kg. Si se considera que el compost que se comercializa contiene aproximadamente un 30% de humedad, la cantidad de compost producido con esta humedad sería de 447.2 kg y 438.75 kg con un costo de producción de \$2.93 y \$2.98 respectivamente.

El costo de producción de un compost varía de acuerdo al residuo y tiempo de compostaje, así por ejemplo el compost obtenido a partir de lodos de una planta de tratamiento de aguas residuales de un rastro municipal tiene un costo de

producción de \$0.51, mientras que el compost generado a partir de los residuos de una planta de tratamiento de aguas residuales de una quesería (grasas) tiene un costo entre los \$3.26 y \$3.87 (Ramírez, 2011; Vicencio, *et al.*, 2011).

El costo del compost obtenido puede competir con el de la tierra para maceta que venden en los viveros (\$2.4/kg) y con los abonos orgánicos que venden en las centros comerciales de la ciudad de Durango, que van desde \$4.2 hasta \$15.0/kg. Sin embargo, es necesario realizar un análisis de factibilidad a un volumen de producción real.

VIII. CONCLUSIONES

1. Los resultados obtenidos del análisis fitoquímico cualitativo practicado a los residuos de orégano indican que estos residuos contienen metabolitos secundarios que pudieran ser una fuente de principios activos de interés industrial.
2. Las temperaturas máximas en los tratamientos durante el compostaje no alcanzaron la fase termofílica debido al pequeño volumen de residuos sometidos al compostaje, lo cual se reflejó en la poca reducción de la materia orgánica, sobre todo en el tratamiento II (compost de tallo) con una reducción de 0.06%.
3. La adición de estiércol en el compostaje de los residuos de orégano incrementó la degradabilidad de la materia orgánica, pero no redujo el tiempo de compostaje.
4. Los compost que presentaron las mejores propiedades físicas, químicas y biológicas en conjunto fueron los tratamientos IV y VI, sin embargo los altos valores de pH y conductividad eléctrica que presentan condicionarán el volumen de compost que se adicionará al suelo. Por lo que para su aplicación será necesario formular mezclas con otros componentes de baja CE y pH ácidos.
5. El costo experimental de producción para los compost IV y VI fue de \$2.93 y \$2.98/kg respectivamente, valores inferiores al costo comercial de otros compost, sin embargo una verdadera evaluación requiere de un estudio de factibilidad a un volumen de producción real.
6. La información generada en el compostaje de los residuos de orégano permitió conocer los requerimientos del proceso, así como sentar las bases que permitirán obtener un compost de calidad que beneficie al ambiente, además de contribuir al conocimiento del orégano al complementar su cadena de aprovechamiento en el estado de Durango.

IX. RECOMENDACIONES

1. Es recomendable realizar un monitoreo en las zonas donde se colecta el orégano para determinar la cantidad de planta que se aprovecha y la proporción de residuos (tallos y ramas) que se genera. También determinar la cantidad de bagazo de hoja que se produce al extraer el aceite esencial con base en la capacidad de procesamiento de las plantas extractoras del estado de Durango.
2. Con base en los resultados obtenidos en este estudio optimizar y estandarizar el compostaje de los residuos de orégano.
3. Realizar la cuantificación de los metabolitos secundarios y extraer los principios activos que pudieran ser de interés, determinando su factibilidad de aprovecharlos en la elaboración de artículos de interés comercial.
4. El volumen de las unidades experimentales en el compostaje de estos residuos debe ser mayor al establecido en ésta investigación para evitar la disipación del calor en las mezclas y lograr una mayor degradación.
5. Se recomienda ajustar la relación C/N entre 25 y 30 con el estiércol para evitar la salinización de los compost resultantes.
6. Evaluar la viabilidad de los compost obtenidos en semillas de hortalizas para verificar los efectos positivos o negativos que tienen sobre éstas.

X. BIBLIOGRAFIA

Amador L. y Rodríguez M. 1991. Manual de laboratorio de microbiología sanitaria en: cuenta de microorganismos mesofilicos aerobios. Escuela nacional de ciencias biológicas de IPN. Departamento de microbiología. 30-48 pp.

Angulo C., Flores D. J., Tejeida J. y Ocampo R. 2005. Orégano: oro verde del semidesierto. En: La riqueza de los bosques mexicanos más allá de la madera: experiencias de comunidades rurales. SEMARNAT. México. 60-65 pp.

Arcila L., P Loarca., U Lecona., M González. 2004. El orégano: propiedades, composición y actividad biológica de sus componentes. Archivos Latinoamericanos de Nutrición. Disponible en línea en:

http://www.alanrevista.org/ediciones/20041/oregano_propiedades_composicion_actividad_biologica.asp. (Revisado el 15 de octubre de 2010).

Avendaño D. 2003. El proceso de compostaje. Pontificia Universidad Católica de Chile. Facultad de agronomía e ingeniería forestal, departamento de fruticultura y etnología. Santiago de Chile. 38 pp.

Avilés, R. y Eusebio H. 1991. Manual de laboratorio de microbiología sanitaria en: cuenta de hongos y levaduras. Escuela nacional de ciencias biológicas de IPN. Departamento de microbiología.

Barrena G. 2006. Compostaje de residuos sólidos orgánicos. Aplicación de técnicas respirométricas en el seguimiento del proceso. Memoria de tesis, Universidad Autónoma de Barcelona. Barcelona, España. 315 pp.

Bonilla, A. y Mosquera R. 2007. Seguimiento de la presencia de rotavirus A en un proceso de compostaje realizado a partir de residuos orgánicos domiciliarios y contenido ruminal. Tesis profesional. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia. 124 pp.

Buenrostro, D. 2006. La producción de residuos sólidos municipales y sus implicaciones ambientales. Ciencia y desarrollo en internet. Disponible en línea en:

<http://www.conacyt.mx/comunicacion/revista/ArticulosCompletos/pdf/Produccion.pdf>. (Revisado el 13 de mayo de 2010).

Castillo Q. 1991. Distribución y ecología del orégano en el municipio de General de Cepeda, Coahuila. Estado actual del conocimiento sobre el orégano en México. Unidad Regional de Zonas Áridas. Universidad Autónoma Chapingo.

Castro M., M Rodríguez., E Hernández. 2009. Comparación de la flora microbiana a partir de dos metodologías para el tratamiento de residuos sólidos domiciliarios en Garagoa, Boyacá. Revista Colombiana de Biotecnología. XI(2):114-126.

Comando, S. 2006. Optimación del compostaje de residuos de sólidos urbanos en proceso de serie anaerobio-aerobio. Tesis doctoral. Universidad politécnica de Madrid. Madrid, España. 407 pp.

Costa, F., C García., T Hernández., A Polo. 1991. Residuos orgánicos urbanos. Manejo y utilización. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Murcia, España. 181 pp.

Dalzell, H., A Biddlestone., K Gray., K Thurairajan.1991. Manejo del suelo: producción y uso del composte en ambientes tropicales y subtropicales. Boletín Suelos N° 56. FAO. Roma. 178 pp.

De la peña I. y F. Llerena. 2001. Manual del uso y manejo del agua. 3ª Ed. Futura. México. 20-26.

Domínguez A. 2010. Evaluación de las propiedades físicas, físico-químicas y de la fototoxicidad de compost comerciales para su uso en la formulación de sustratos de cultivo. Tesis profesional. Escuela superior de Barcelona. Barcelona, España. 142pp.

Domínguez A. 1979. Métodos de investigación fitoquímica. México. Limusa. 281 pp.

Etchevers J. 1992. Manual de métodos para análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes: Análisis rutinarios en estudios y programas de fertilidad. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 86 pp.

Flores R. 2009^a. Compostaje de dos materiales de bagazo de maguey tequilero (*Agave tequilana* Weber) y su determinación física y fisicoquímica. Tesis de maestría. CIIDIR IPN Unidad Oaxaca. Oaxaca, México. 99 pp.

Flores R. 2009^b. Potencial productivo del orégano (*Lippia graveolens* HBK.) y calidad de su aceite esencial en dos localidades de El Mezquital, Dgo. Tesis de maestría. CIIDIR IPN Durango. Durango, México. 130 pp.

García G. y Ortega S. 2007. Aprovechamiento de orégano silvestre en la región de Nazas Durango. INIFAP. Campo experimental la Laguna. XII congreso nacional de la sociedad mexicana de ciencias hortícolas.

Godden B. and M. Penninckx. 1987. Biochemistry of manure composting: lignin biotransformation and humification. In: Compost production, quality and use. Ed. by M. Bertoldi, M. P. Ferrati, P. L. Hermite and F. Zucchini. Elsevier Applied Science. London and New York (Comission of the European Comunities). 238-244 pp.

Gómez P. y Estrada L. 2005. Índices de la calidad de suelos y compost desde la perspectiva agro-ecológica. II congreso sobre residuos biodegradables y compost: el reto de fomentar el consumo de los productos finales. Sevilla, España.

González G., H Soto., K Geoffrey., V Martínez. 2007. Actividad antioxidante de flavonoides del tallo de orégano mexicano (*Lippia graveolens* HBK var. *Berlandieri* Schauer. Fitotecnia mexicana. 30(1):43-49.

Guerrero M. 2008. Proceso de composteo de lodos de la PTAR del Club Camprestre de Durango A.C. Tesis de Maestría, Instituto tecnológico de Durango. Durango, México. 121 pp.

Haug R. 1993. The practical Handbook of Compost Engineering. Lewis Publishers. Boca Ranton, FL., USA. 717 pp.

Heno J., L Muñoz., E Ríos., L Padilla., G Giraldo. 2009. Evaluación de la actividad antimicrobiana de los extractos de la planta *Lippia origanoides* h.b.k. Cultivada en el departamento de Quindío. Revista de Investigación de la Universidad del Quindío. (19):159-164. Armenia, Colombia.

Huerta C. 1997. Orégano mexicano: oro vegetal. Biodiversitas. 5:8-13.

Iglesias J. y G Pérez. 1989. Evaluations of city refuse compost maturity: A review. Biological Wastes. 27:115-142.

Jaramillo H. 2008. Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en Colombia. Tesis de maestría. Universidad de Antioquia. Bogotá, Colombia. 116 pp.

Kalil P. 2007. Seguimiento del proceso de humificación en compost inoculado. Tesis profesional. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia. 89 pp.

Ku U. 2008. Actividad antimicrobiana de extractos de orégano (*Lippia graveolens*) contra microorganismos fitopatógenos. Tesis profesional. Universidad Autónoma de Querétaro. Querétaro, México. 86 pp.

Larco R. 2004. Desarrollo y evaluación de lixiviados de compost y lombricompost para el manejo de Sigatora Negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet), en plátano. Tesis de maestría. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza Catie. Turrialba, Costa Rica.

Martínez G. 2004. Evolución temporal del alperujo procedente de almaraza. Tesis profesional. Universidad de Córdoba. Córdoba, España. 137 pp.

Moreno C. y H Moral. 2007. Compostaje. Madrid, España. Mundi prensa 370 pp.

Navarro P., H Moral., L Gómez., B Mataiz.1995. Residuos orgánicos y agricultura. Universidad de Alicante. España. pp. 155.

NOM-004-SEMARNAT-2002. Lodos y biosólidos. Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final.

NOM-021-SEMARNAT-2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis.

NTEA-006-SMA-RS-2006. Que establece los requisitos para la producción de los mejoradores de suelos elaborados a partir de residuos orgánicos.

Organización Mundial de la Salud. 1985, Manual para la elaboración de compost: bases conceptuales y procedimientos. Ginebra, Suiza.

Ortiz P. 1994. Procesos de compostaje, lombricultura y elaboración de pulpa de papel al alcance de las comunidades. Experimentos piloto en la localidad 6 de Tunjuelito. Universidad de la Salle. Facultad de ingeniería ambiental y sanitaria. Bogotá, Colombia. 129 pp.

Palacio G. 2000. Las plantas medicinales y aromáticas. Una alternativa de futuro para el desarrollo rural. Boletín económico de ICE No. 2652. Del 1 al de mayo de 2000. 12 pp.

Peña T., R Carrión., F Martínez., N Rodríguez., C Companioni. 2002. Manual para la producción de abonos orgánicos en la agricultura urbana. Programa de la Naciones Unidas para el Desarrollo.

Puente I. y García R. 2001. Acercamiento a la alelopatía en la agricultura cubana. Feijóo. Cuba. 58 pp.

Ramírez E. (2011). Evaluación del proceso de compostaje de residuos con alto contenido de grasa láctea y estimación del costo-beneficio de su producción. Tesis de Licenciatura. Instituto tecnológico de Durango. Durango, México. 120 pp.

Róben E. 2002. Manual de compostaje para municipios. Loja, Ecuador. 68 pp.

Rodríguez F. y J Rodríguez. 2002. Métodos de análisis de suelos y plantas: criterios de interpretación. Trillas. México. 196 pp.

Rodríguez, S. y V Córdova. 2006. Manual de compostaje municipal. Tratamiento de residuos sólidos urbanos. SEMARNAT-INE. 104 pp.

Rolando A. 2007. Aceite esencial de orégano: tratamiento por digestión anaeróbica de los residuos generados en su obtención. Tesis Licenciatura. Universidad Nacional de Luján. Buenos Aires, Argentina. 127 pp.

Saez A. (2000). Optimización de los métodos para mejorar la calidad del compost de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos. Tesis doctoral. Universidad politécnica de Madrid. Madrid, España. 359 pp.

Salazar S., H Fortis., A Vázquez., V Vázquez. 2003. Abonos orgánicos y plasticultura. Facultad de Agricultura y Zootecnia de la UJED, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, COCyTED. 233 pp.

Santamaria, R. y Ferrera C. 2002. Dinámica poblacional de *Eisenia Andrei* (Bouché 1972) en diferentes residuos orgánicos. Terra latinoamericana. 20:303-310.

SEMARNAT. 2001. Evaluación del riesgo de extinción de *Lippia graveolens* de acuerdo al numeral 5.7 de la NOM-059-SEMARNAT-2001.

SEMARNAT. 2009. Aprovechamiento Forestal. SEMARNAT, Delegación Durango. (disponible en:

http://www.semarnat.gob.mx/estadps/durango/temas/Paginas/aprov_forest.aspx.

Revisado el 27 de mayo del 2011).

Silva R. 2005. El orégano (*Lippia graveolens* Shauer.) una alternativa agroindustrial para las zonas áridas y semiáridas de México. Memorias segunda reunión nacional de orégano. SIRENA. Salaces, Chihuahua.

Soliva M. 2001. Compostaje de residuos orgánicos y aplicación agrícola. 5º concurso de ingeniería ambiental. Escuela de Ingeniería Agrícola de Barcelona. Barcelona, España.

Statistica ver 7.0 (stat. Soft. Inc. 1984-2004).

Statgraphycs Plus 501.

Stoffella P. y Kahn B. 2004. Utilización de compost en los sistemas de cultivo hortícola. Madrid, España. Mundi prensa. 401 pp.

Sztern D. y Pravia M. 1999. Manual para la elaboración de compost. Bases conceptuales y procedimientos. Organización Panamericana de la Salud. 69 pp.

Thompson L. y Thoeh F. 1988. Los suelos y su fertilidad. Barcelona, España. McGraw-Hill. 657 pp.

Tiquia S. y Tam N. (1998). Elimination of phytotoxicity during co-composting of spent pig-manure sawdust litter and pig sludge. Bioresorce Technology. 65:43-49.

Torres, P., A Pérez., J Escobar., I Uribe., R Imery. 2007. Compostaje de biosólidos de plantas de tratamiento de aguas residuales. Eng. Agric., Jaboticabal. 27:267-275.

Trejo, V. 1999. Procesamiento de la basura urbana. Trillas. 3ª. Ed. México. 283 pp.

Vicencio G., M Pérez., Medina L., Martínez M. 2001. Producción de composta y vermicomposta a partir de los lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de un rastro. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 27(03):263-270.

Vicencio G., M Pérez., M Rosales. 2002. Constantes de decaimiento de coliformes fecales en el efluente de una empresa cárnica. *Interciencia*. (2):55-61.

Villavicencio G. 2007. Orégano, recurso con alto potencial. *Ciencia y Desarrollo*. 33:60-66.

Yañez Q., M Levy., A Azero. 2007. Evaluación del compostaje de residuos de dos agroindustrias palmiteras del trópico de Cochabamba en silos hiperventilados. Departamento de ciencias exactas e ingeniería. Universidad Católica Boliviana. Cochabamba, Bolivia.

Zavala N., P Loarca., G García. 2006. Evaluación del contenido fenólico, capacidad antioxidante y actividad citotóxica sobre células CaCo-2 del extracto acuoso de orégano (*Lippia graveolens kunth*). 2do congreso nacional de química médica, Querétaro, México. Del 4 al 8 de septiembre de 2006.

Zhu N., Ch Deng., Y Xiong., H Qian. (2004). Performance characteristic of tree aeration system in the swine manure composting. *Bioresource technology*. 95(3):319-326.

ANEXOS

ANEXO A

Muestra la información referente al análisis Lattice simplex Centroide practicado a los datos de pH.

Resumen del análisis

Nombre de fichero: C:\Program Files\Statgraphics\STATGRAPHICS Centurion XVI.1\Data\CUADRATI

Modelo Completo de Efectos Estimados para PH 0

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Medio Cuadrado	F-Ratio	P-Valor
Media	1165,25	1	1165,25		
Bloques	0,030581	2	0,0152905	0,04	0,9654
Lineal	0,0932399	2	0,0466199	0,10	0,9082
Cuadrático	4,54698	3	1,51566	6,25	0,0074
Especial Cúbico	0,00242507	1	0,00242507	0,01	0,9250
Error	3,15075	12	0,262563		
Total	1173,08	21			

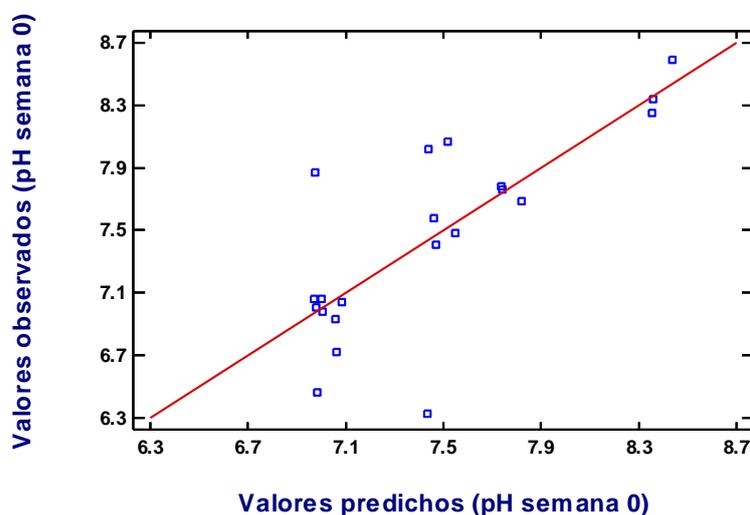
Modelo Completo de Resultados

Modelo	SE	R-Cuadrado	R-Cuadrado Ajust.
Lineal	0,693729	1,58	0,00
Cuadrático	0,492496	59,70	38,00
Especial Cúbico	0,512409	59,73	32,88

$$PH\ 0 = 7,00247*HOJA + 7,49247*TALLO + 7,02914*ESTIERCOL - 0,962817*HOJA*TALLO + 5,47052*HOJA*ESTIERCOL + 0,810517*TALLO*ESTIERCOL$$

$$\text{Valor Optimo} = 8,38347$$

Factor	Inferior	Mayor	Optimo
HOJA	0,0	1,0	0,49751
TALLO	0,0	1,0	4,28937E-11
ESTIERCOL	0,0	1,0	0,50249



Resumen del análisis

Nombre de fichero: C:\Program Files\Statgraphics\STATGRAPHICS Centurion XVI.1\Data\CUADRATI

Modelo Completo de Efectos Estimados para PH 3

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Medio Cuadrado	F-Ratio	P-Valor
Media	1542,17	1	1542,17		
Bloques	0,0238095	2	0,0119048	0,09	0,9110
Lineal	0,0691601	2	0,03458	0,25	0,7821
Cuadrático	1,33985	3	0,446616	6,62	0,0059
Especial Cúbico	0,107021	1	0,107021	1,67	0,2209
Error	0,770057	12	0,0641714		
Total	1544,48	21			

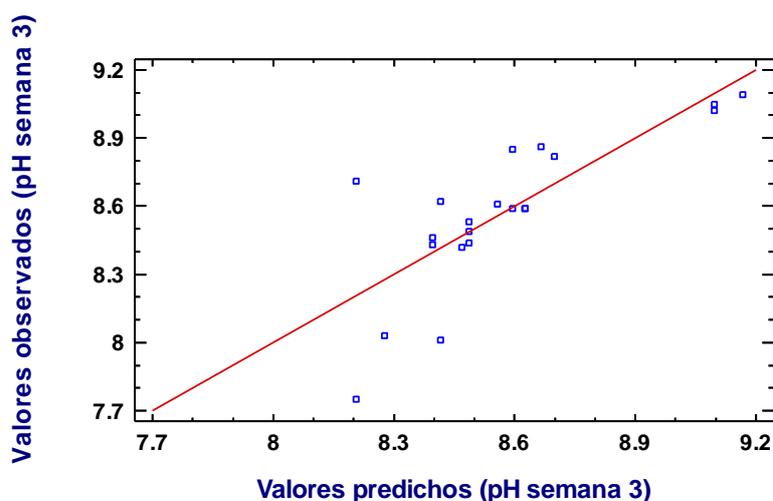
Modelo Completo de Resultados

Modelo	SE	R-Cuadrado	R-Cuadrado Ajust.
Lineal	0,372234	4,02	0,00
Cuadrático	0,259745	62,03	41,58
Especial Cúbico	0,253321	66,66	44,44

$$PH\ 3 = 8,51023*HOJA + 8,65023*TALLO + 8,42023*ESTIÉRCOL - 1,40453*HOJA*TALLO + 2,61547*HOJA*ESTIÉRCOL - 0,384534*TALLO*ESTIÉRCOL$$

Valor Optimo = 9,11987

Factor	Inferior	Mayor	Optimo
HOJA	0,0	1,0	0,517397
TALLO	0,0	1,0	2,74117E-8
ESTIÉRCOL	0,0	1,0	0,482603



Resumen del análisis

Nombre de fichero: C:\Program Files\Statgraphics\STATGRAPHICS Centurion XVI, IWDData\WCUADRATI

Modelo Completo de Efectos Estimados para PH 7

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Medio Cuadrado	F-Ratio	P-Valor
Media	1565,74	1	1565,74		
Bloques	0,0109238	2	0,0054619	0,03	0,9719
Lineal	0,139391	2	0,0696956	0,34	0,7187
Cuadrático	0,557509	3	0,185836	0,88	0,4775
Especial Cúbico	1,10622	1	1,10622	8,08	0,0148
Error	1,64368	12	0,136973		
Total	1569,2	21			

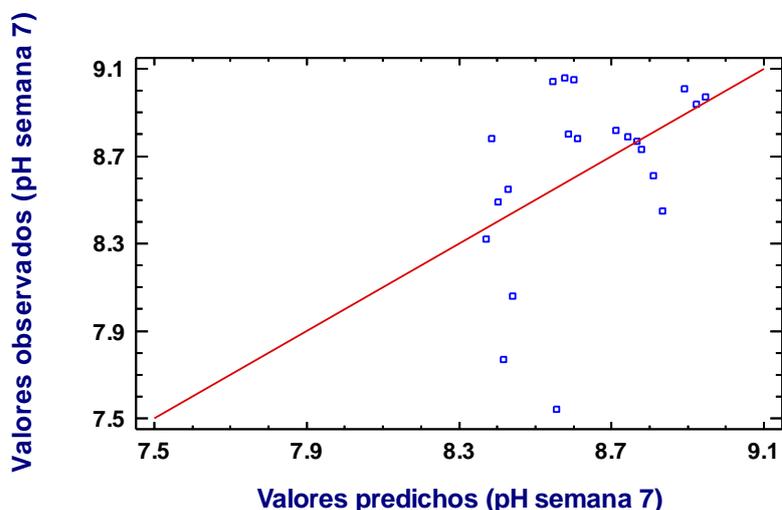
Modelo Completo de Resultados

Modelo	SE	R-Cuadrado	R-Cuadrado Ajust.
Lineal	0,454657	4,35	0,00
Cuadrático	0,459925	20,47	0,00
Especial Cúbico	0,370099	52,46	20,77

$$\text{PH 7} = 8,74048 \cdot \text{HOJA} + 8,92048 \cdot \text{TALLO} + 8,40048 \cdot \text{ESTIÉRCOL} - 1,66292 \cdot \text{HOJA} \cdot \text{TALLO} + 0,950414 \cdot \text{HOJA} \cdot \text{ESTIÉRCOL} - 0,30292 \cdot \text{TALLO} \cdot \text{ESTIÉRCOL}$$

Valor Optimo = 8,92048

Factor	Inferior	Mayor	Optimo
HOJA	0,0	1,0	0,0
TALLO	0,0	1,0	1,0
ESTIÉRCOL	0,0	1,0	0,0



Resumen del análisis

Nombre de fichero: C:\Program Files\Statgraphics\STATGRAPHICS Centurion XVI, IWDData\WCADRATI

Modelo Completo de Efectos Estimados para PH 10

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Medio Cuadrado	F-Ratio	P-Valor
Media	1497,09	1	1497,09		
Bloques	0,180867	2	0,0904333	0,68	0,5191
Lineal	0,779538	2	0,389769	3,87	0,0427
Cuadrático	0,916784	3	0,305595	5,70	0,0102
Especial Cubico	0,102145	1	0,102145	2,06	0,1766
Error	0,594533	12	0,0495444		
Total	1499,66	21			

Modelo Completo de Resultados

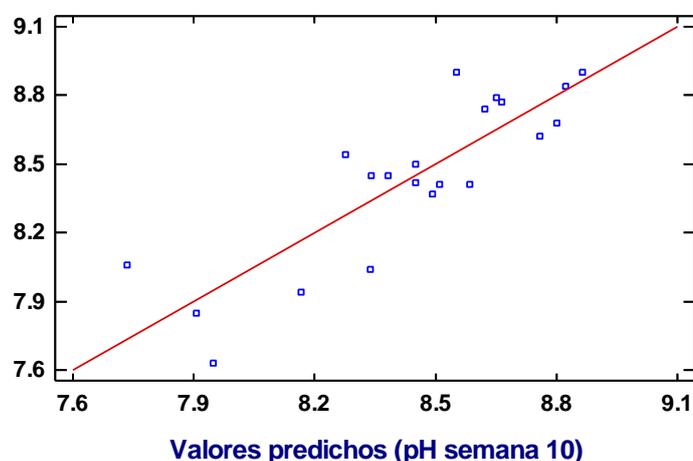
Modelo	SE	R-Cuadrado	R-Cuadrado Ajust.
Lineal	0,317555	37,31	21,64
Cuadrático	0,231496	72,93	58,36
Especial Cubico	0,222586	76,90	61,50

$$\text{PH 10} = 8,29606 \cdot \text{HOJA} + 7,86273 \cdot \text{TALLO} + 8,46606 \cdot \text{ESTIÉRCOL} + 1,30547 \cdot \text{HOJA} \cdot \text{TALLO} + 1,59213 \cdot \text{HOJA} \cdot \text{ESTIÉRCOL} + 1,6588 \cdot \text{TALLO} \cdot \text{ESTIÉRCOL}$$

Valor Optimo = 8,79181

Factor	Inferior	Mayor	Optimo
HOJA	0,0	1,0	0,392993
TALLO	0,0	1,0	0,087807
ESTIÉRCOL	0,0	1,0	0,5192

Valores observados (pH semana 10)



Resumen del análisis

Nombre de fichero: C:\Program Files\Statgraphics\STATGRAPHICS Centurion XVI.1\Data\CUADRATI

Modelo Completo de Efectos Estimados para PH 13

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Medio Cuadrado	F-Ratio	P-Valor
Media	1575.43	1	1575.43		
Bloques	0.0574571	2	0.0287286	0.13	0.8792
Lineal	0.966751	2	0.483376	2.56	0.1085
Cuadrático	0.993256	3	0.331085	2.12	0.1468
Especial Cúbico	0.0867163	1	0.0867163	0.54	0.4782
Error	1.94168	12	0.161806		
Total	1579.47	21			

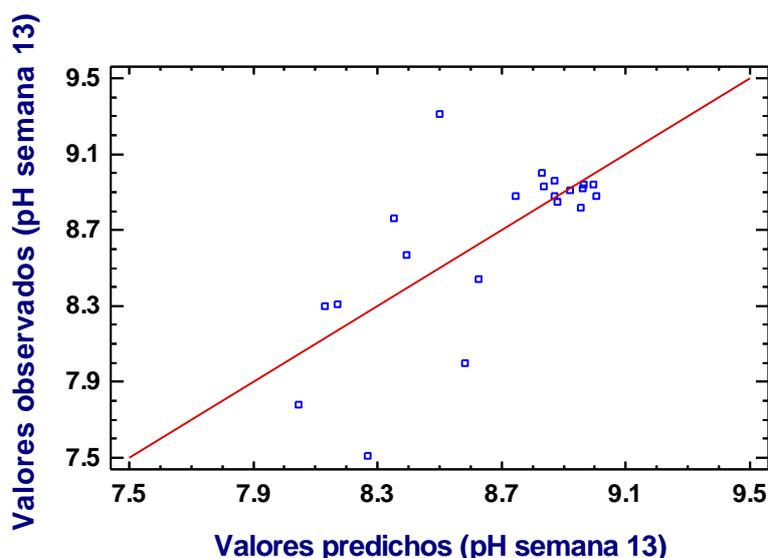
Modelo Completo de Resultados

Modelo	SE	R-Cuadrado	R-Cuadrado Ajust.
Lineal	0.434572	25.31	6.64
Cuadrático	0.395007	49.86	22.87
Especial Cúbico	0.402252	52.01	20.01

PH 13 = 8.9052*HOJA + 8.1152*TALLO + 8.56853*ESTIÉRCOL -
 0.684029*HOJA*TALLO + 0.849305*HOJA*ESTIÉRCOL + 2.3893*TALLO*ESTIÉRCOL

Valor Optimo = 8.98256

Factor	Inferior	Mayor	Optimo
HOJA	0.0	1.0	0.698
TALLO	0.0	1.0	6.66003E-9
ESTIÉRCOL	0.0	1.0	0.302



Resumen del análisis

Nombre de fichero: C:\Program Files\Statgraphics\STATGRAPHICS Centurion XVI.1\WData\WCUADRATI

Modelo Completo de Efectos Estimados para PH 16

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Medio Cuadrado	F-Ratio	P-Valor
Media	1533,78	1	1533,78		
Bloques	0,0469238	2	0,0234619	0,10	0,9041
Lineal	1,31561	2	0,657807	3,69	0,0480
Cuadrático	1,72084	3	0,573615	6,60	0,0060
Especial Cúbico	0,00630425	1	0,00630425	0,07	0,7996
Error	1,12341	12	0,0936175		
Total	1538,0	21			

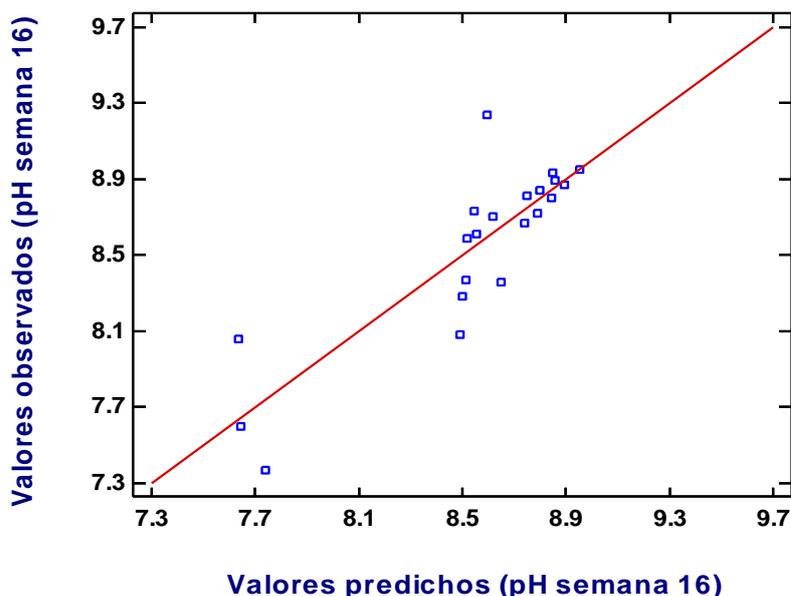
Modelo Completo de Resultados

Modelo	SE	R-Cuadrado	R-Cuadrado Ajust.
Lineal	0,42209	32,34	15,43
Cuadrático	0,29479	73,19	58,75
Especial Cúbico	0,30597	73,34	55,56

$$\text{PH 16} = 8,54934 \cdot \text{HOJA} + 7,67268 \cdot \text{TALLO} + 8,52934 \cdot \text{ESTIÉRCOL} + 1,88648 \cdot \text{HOJA} \cdot \text{TALLO} + 0,946477 \cdot \text{HOJA} \cdot \text{ESTIÉRCOL} + 2,89981 \cdot \text{TALLO} \cdot \text{ESTIÉRCOL}$$

Valor Optimo = 8,92019

Factor	Inferior	Mayor	Optimo
HOJA	0,0	1,0	0,224502
TALLO	0,0	1,0	0,27639
ESTIÉRCOL	0,0	1,0	0,499107



ANEXO B

Muestra la información referente al análisis Lattice simplex Centroide practicado a los datos de CE.

Resumen del análisis

Nombre de fichero: C:\Program Files\Statgraphics\STATGRAPHICS Centurion XVI.1\WData\WCUADRATI

Modelo Completo de Efectos Estimados para CE 0

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Medio Cuadrado	F-Ratio	P-Valor
Media	176,784	1	176,784		
Bloques	0,0919357	2	0,0459679	0,03	0,9699
Lineal	25,3907	2	12,6953	127,41	0,0000
Cuadrático	1,09062	3	0,36354	9,38	0,0014
Especial Cúbico	0,000364642	1	0,000364642	0,01	0,9272
Error	0,503248	12	0,0419373		
Total	203,861	21			

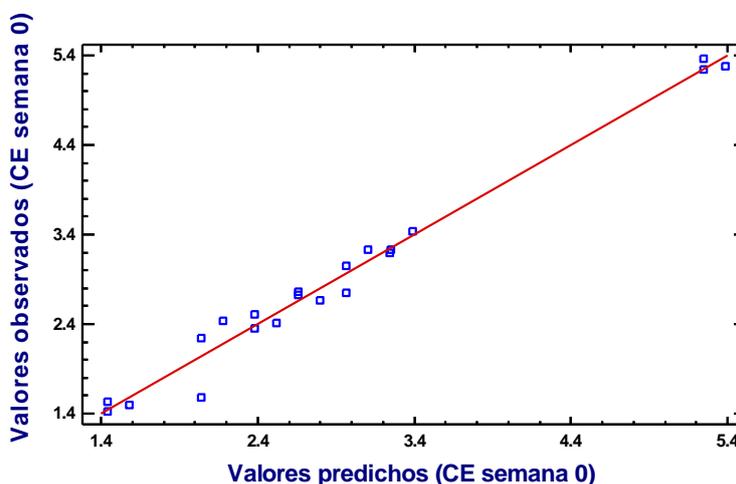
Modelo Completo de Resultados

Modelo	SE	R-Cuadrado	R-Cuadrado Ajust.
Lineal	0,315657	94,11	92,64
Cuadrático	0,196823	98,14	97,14
Especial Cúbico	0,204786	98,14	96,90

$$CE\ 0 = 2,42571*HOJA + 1,48571*TALLO + 5,29571*ESTIÉRCOL + 0,532528*HOJA*TALLO - 2,26747*HOJA*ESTIÉRCOL - 1,51414*TALLO*ESTIÉRCOL$$

Valor Optimo = 5,29571

Factor	Inferior	Mayor	Optimo
HOJA	0,0	1,0	0,0
TALLO	0,0	1,0	0,0
ESTIÉRCOL	0,0	1,0	1,0



Resumen del análisis

Nombre de fichero: C:\Program Files\Statgraphics\STATGRAPHICS Centurion XVI.1\Data\WCUADRATI

Modelo Completo de Efectos Estimados para CE 3

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Medio Cuadrado	F-Ratio	P-Valor
Media	144,352	1	144,352		
Bloques	0,109875	2	0,0549373	0,03	0,9723
Lineal	30,3553	2	15,1776	50,95	0,0000
Cuadrático	2,22754	3	0,742512	3,80	0,0371
Especial Cúbico	0,0944277	1	0,0944277	0,46	0,5089
Error	2,4441	12	0,203675		
Total	179,583	21			

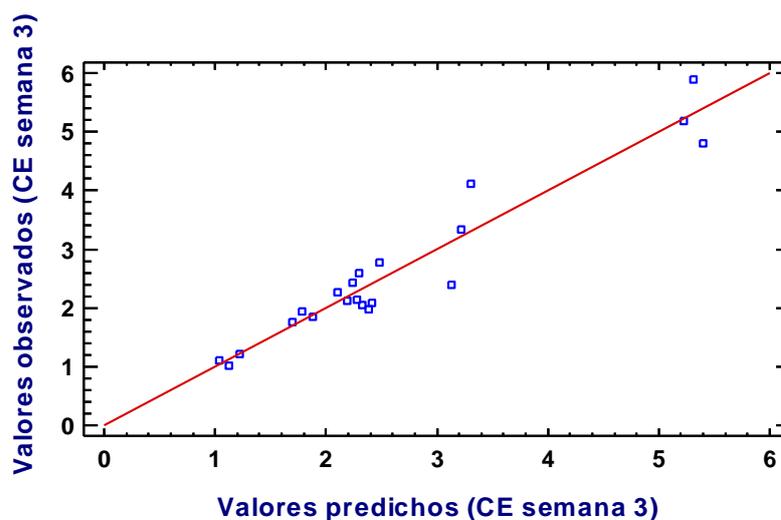
Modelo Completo de Resultados

Modelo	SE	R-Cuadrado	R-Cuadrado Ajust.
Lineal	0,545783	86,47	83,09
Cuadrático	0,441895	92,79	88,91
Especial Cúbico	0,451304	93,06	88,44

$$CE\ 3 = 2,19044*HOJA + 1,12778*TALLO + 5,31378*ESTIÉRCOL + 0,508498*HOJA*TALLO - 2,13284*HOJA*ESTIÉRCOL - 3,32884*TALLO*ESTIÉRCOL$$

Valor Optimo = 5,31378

Factor	Inferior	Mayor	Optimo
HOJA	0,0	1,0	0,0
TALLO	0,0	1,0	0,0
ESTIÉRCOL	0,0	1,0	1,0



Resumen del análisis

Nombre de fichero: C:\Program Files\Statgraphics\STATGRAPHICS Centurion XVI.1\Data\CUADRATI

Modelo Completo de Efectos Estimados para CE 7

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Medio Cuadrado	F-Ratio	P-Valor
Media	142,402	1	142,402		
Bloques	0,109809	2	0,0549046		0,9790
Lineal	42,5914	2	21,2957	84,69	0,0000
Cuadrático	2,60419	3	0,868064	7,95	0,0029
Especial Cúbico	0,139782	1	0,139782	1,31	0,2746
Error	1,27954	12	0,106628		
Total	189,127	21			

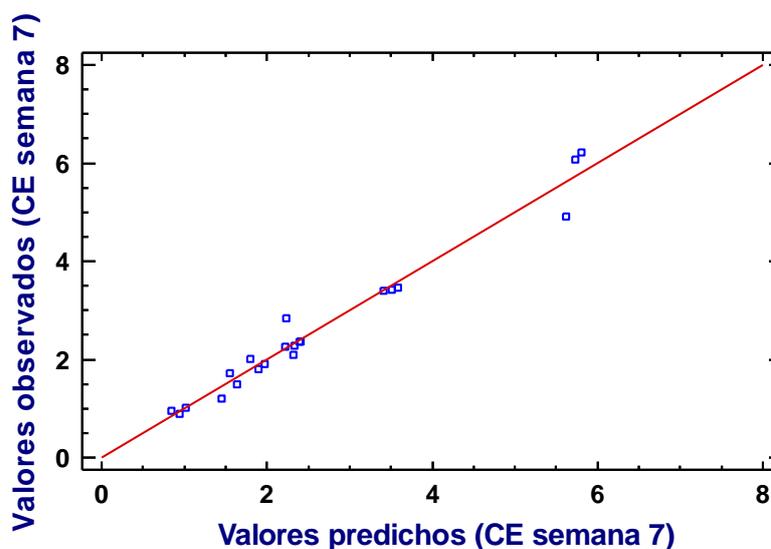
Modelo Completo de Resultados

Modelo	SE	R-Cuadrado	R-Cuadrado Ajust.
Lineal	0,501467	91,39	89,24
Cuadrático	0,330422	96,96	95,33
Especial Cúbico	0,32654	97,26	95,44

$$CE\ 7 = 1,88988*HOJA + 0,937879*TALLO + 5,71621*ESTIÉRCOL + 0,537093*HOJA*TALLO - 1,19157*HOJA*ESTIÉRCOL - 4,07424*TALLO*ESTIÉRCOL$$

Valor Optimo = 5,71621

Factor	Inferior	Mayor	Optimo
HOJA	0,0	1,0	0,0
TALLO	0,0	1,0	0,0
ESTIÉRCOL	0,0	1,0	1,0



Resumen del análisis

Nombre de fichero: C:\Program Files\Statgraphics\STATGRAPHICS Centurion XVI.1\Data\CUADRATI

Modelo Completo de Efectos Estimados para CE 10

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Medio Cuadrado	F-Ratio	P-Valor
Media	209,527	1	209,527		
Bloques	0,328794	2	0,164397	0,05	0,9531
Lineal	56,8311	2	28,4155	97,86	0,0000
Cuadrático	2,67961	3	0,893205	5,91	0,0090
Especial Cúbico	0,179541	1	0,179541	1,21	0,2937
Error	1,78664	12	0,148887		
Total	271,333	21			

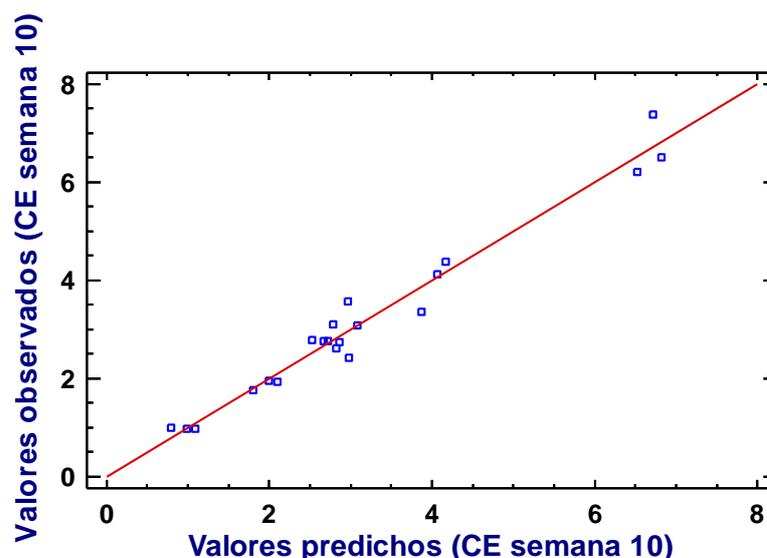
Modelo Completo de Resultados

Modelo	SE	R-Cuadrado	R-Cuadrado Ajust.
Lineal	0,538853	92,48	90,60
Cuadrático	0,388902	96,82	95,11
Especial Cúbico	0,385858	97,11	95,18

$$CE\ 10 = 2,68937*HOJA + 0,956374*TALLO + 6,68237*ESTIÉRCOL + 0,566528*HOJA*TALLO - 2,59214*HOJA*ESTIÉRCOL - 3,47947*TALLO*ESTIÉRCOL$$

Valor Optimo = 6,68237

Factor	Inferior	Mayor	Optimo
HOJA	0,0	1,0	0,0
TALLO	0,0	1,0	0,0
ESTIÉRCOL	0,0	1,0	1,0



Resumen del análisis

Nombre de fichero: C:\Program Files\Statgraphics\STATGRAPHICS Centurion XVI.1\Data\WCUADRATI

Modelo Completo de Efectos Estimados para CE 13

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Medio Cuadrado	F-Ratio	P-Valor
Media	308,691	1	308,691		
Bloques	1,22903	2	0,614517	0,12	0,8874
Lineal	80,8248	2	40,4124	58,06	0,0000
Cuadrático	5,12236	3	1,70745	3,69	0,0403
Especial Cúbico	0,207099	1	0,207099	0,43	0,5253
Error	5,80689	12	0,483908		
Total	401,881	21			

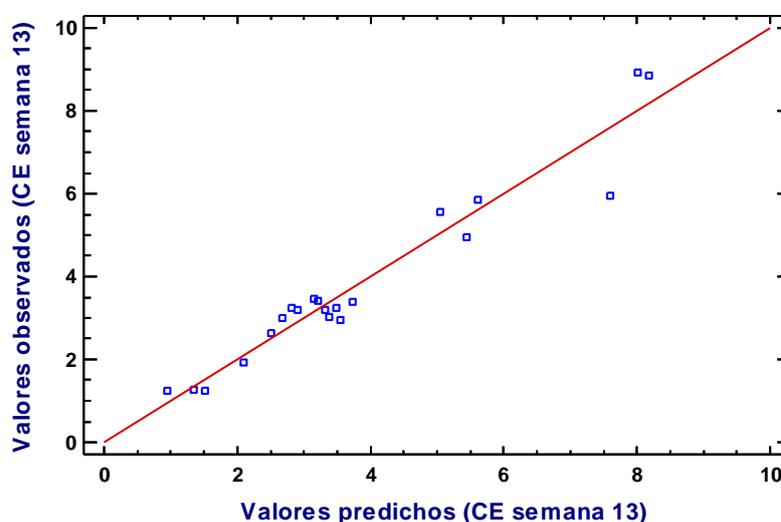
Modelo Completo de Resultados

Modelo	SE	R-Cuadrado	R-Cuadrado Ajust.
Lineal	0,834279	88,05	85,06
Cuadrático	0,680158	93,55	90,07
Especial Cúbico	0,695635	93,77	89,61

$$CE\ 13 = 3,2382*HOJA + 1,26954*TALLO + 7,92987*ESTIÉRCOL + 0,698631*HOJA*TALLO - 0,875369*HOJA*ESTIÉRCOL - 5,8687*TALLO*ESTIÉRCOL$$

Valor Optimo = 7,92987

Factor	Inferior	Mayor	Optimo
HOJA	0,0	1,0	0,0
TALLO	0,0	1,0	0,0
ESTIÉRCOL	0,0	1,0	1,0



Resumen del análisis

Nombre de fichero: C:\Program Files\Statgraphics\WSTATGRAPHICS Centurion XVI, I\WData\WCUADRATI

Modelo Completo de Efectos Estimados para CE 16

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Medio Cuadrado	F-Ratio	P-Valor
Media	465,536	1	465,536		
Bloques	0,201923	2	0,100961	0,01	0,9862
Lineal	126,261	2	63,1306	232,11	0,0000
Cuadrático	1,80849	3	0,602829	3,08	0,0649
Especial Cúbico	2,07655	1	2,07655	53,39	0,0000
Error	0,466693	12	0,0388911		
Total	596,351	21			

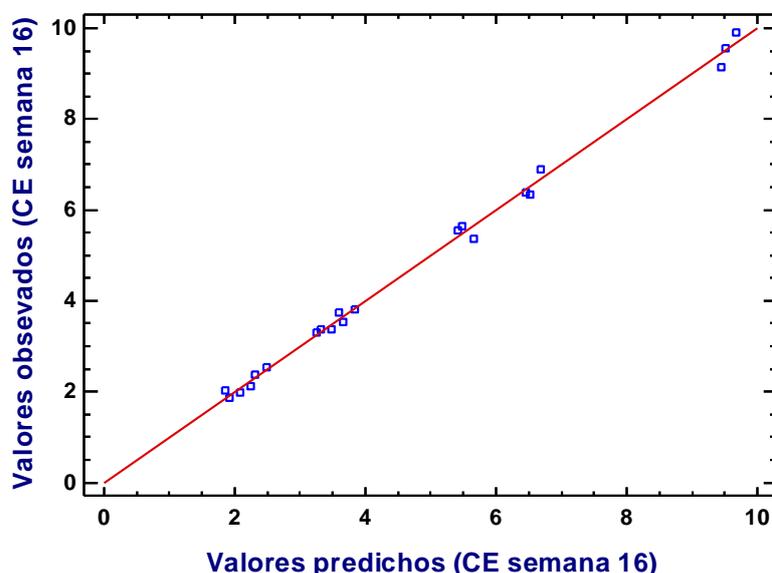
Modelo Completo de Resultados

Modelo	SE	R-Cuadrado	R-Cuadrado Ajust.
Lineal	0,52152	96,67	95,84
Cuadrático	0,442305	98,06	97,01
Especial Cúbico	0,197208	99,64	99,41

$$\text{CE 16} = 3,34767 \cdot \text{HOJA} + 1,95433 \cdot \text{TALLO} + 9,539 \cdot \text{ESTIÉRCOL} - 1,19333 \cdot \text{HOJA} \cdot \text{TALLO} + 0,416 \cdot \text{HOJA} \cdot \text{ESTIÉRCOL} - 0,908 \cdot \text{TALLO} \cdot \text{ESTIÉRCOL} - 28,676 \cdot \text{HOJA} \cdot \text{TALLO} \cdot \text{ESTIÉRCOL}$$

Valor Optimo = 9,539

Factor	Inferior	Mayor	Optimo
HOJA	0,0	1,0	0,0
TALLO	0,0	1,0	0,0
ESTIÉRCOL	0,0	1,0	1,0



ANEXO C

Muestra la información referente al análisis Lattice simplex Centroide practicado a los datos de MO.

Resumen del análisis

Nombre de fichero: C:\Program Files\Statgraphics\STATGRAPHICS Centurion XVI, I\WData\mo.sfx

Modelo Completo de Efectos Estimados para MO semana 0

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Medio Cuadrado	F-Ratio	P-Valor
Media	139972,0	1	139972,0		
Bloques	64,6423	2	32,3212	0,13	0,8830
Lineal	3893,25	2	1946,63	41,57	0,0000
Cuadrático	47,7842	3	15,9281	0,30	0,8282
Especial Cúbico	87,6832	1	87,6832	1,71	0,2150
Error	613,821	12	51,1518		
Total	144679,0	21			

Modelo Completo de Resultados

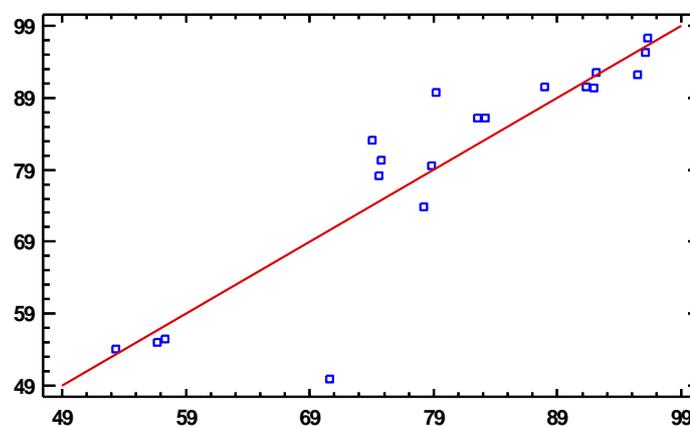
Modelo	SE	R-Cuadrado	R-Cuadrado Ajust.
Lineal	6,84329	84,08	80,10
Cuadrático	7,34588	85,10	77,07
Especial Cúbico	7,15205	86,96	78,27

MO semana 0 = 90,3872*HOJA + 98,7566*TALLO + 55,7806*ESTIÉRCOL

Valor Optimo = 98,7566

Factor	Inferior	Mayor	Optimo
HOJA	0,0	1,0	0,0
TALLO	0,0	1,0	1,0
ESTIÉRCOL	0,0	1,0	0,0

Valores observados (MO semana 0)



Valores predichos (MO semana 0)

Resumen del análisis

Nombre de fichero: C:\Program Files\Statgraphics\STATGRAPHICS Centurion XVI, I\WData\mo, sfx

Modelo Completo de Efectos Estimados para MO semana 3

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Medio Cuadrado	F-Ratio	P-Valor
Media	132347,0	1	132347,0		
Bloques	30,9249	2	15,4624	0,05	0,9486
Lineal	4976,35	2	2488,17	142,55	0,0000
Cuadrático	150,801	3	50,267	5,09	0,0151
Especial Cúbico	4,84673	1	4,84673	0,47	0,5058
Error	123,626	12	10,3022		
Total	137634,0	21			

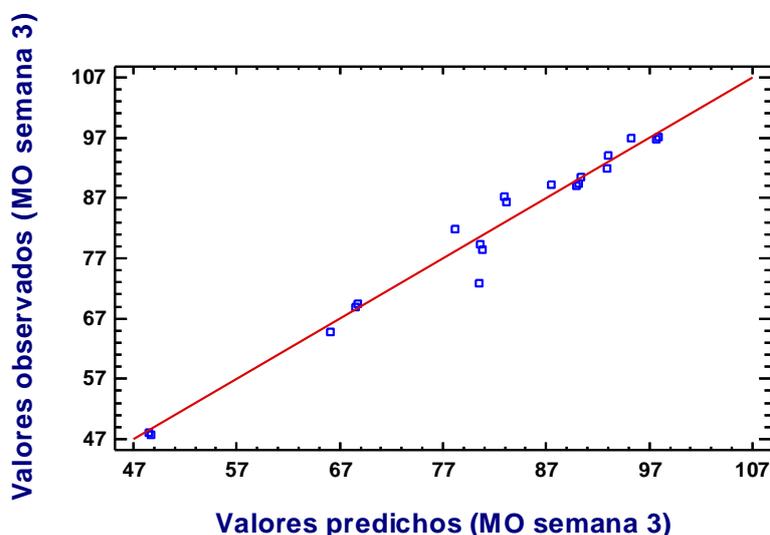
Modelo Completo de Resultados

Modelo	SE	R-Cuadrado	R-Cuadrado Ajust.
Lineal	4,17787	94,72	93,40
Cuadrático	3,14365	97,57	96,26
Especial Cúbico	3,2097	97,66	96,10

MO semana 3 = 89,1733*HOJA + 96,9233*TALLO + 47,73*ESTIÉRCOL -
 3,75333*HOJA*TALLO - 2,79333*HOJA*ESTIÉRCOL + 30,0533*TALLO*ESTIÉRCOL
 + 43,8124*HOJA*TALLO*ESTIÉRCOL

Valor Optimo = 96,9233

Factor	Inferior	Mayor	Optimo
HOJA	0,0	1,0	0,0
TALLO	0,0	1,0	1,0
ESTIÉRCOL	0,0	1,0	0,0



Resumen del análisis

Nombre de fichero: C:\Program Files\Statgraphics\STATGRAPHICS Centurion XVI, I\WData\mo.sfx

Modelo Completo de Efectos Estimados para MO semana 7

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Medio Cuadrado	F-Ratio	P-Valor
Media	126667,0	1	126667,0		
Bloques	23,1947	2	11,5973	0,03	0,9675
Lineal	5989,47	2	2994,73	155,29	0,0000
Cuadrático	152,003	3	50,6677	4,21	0,0276
Especial Cúbico	25,5869	1	25,5869	2,34	0,1517
Error	130,975	12	10,9146		
Total	132988,0	21			

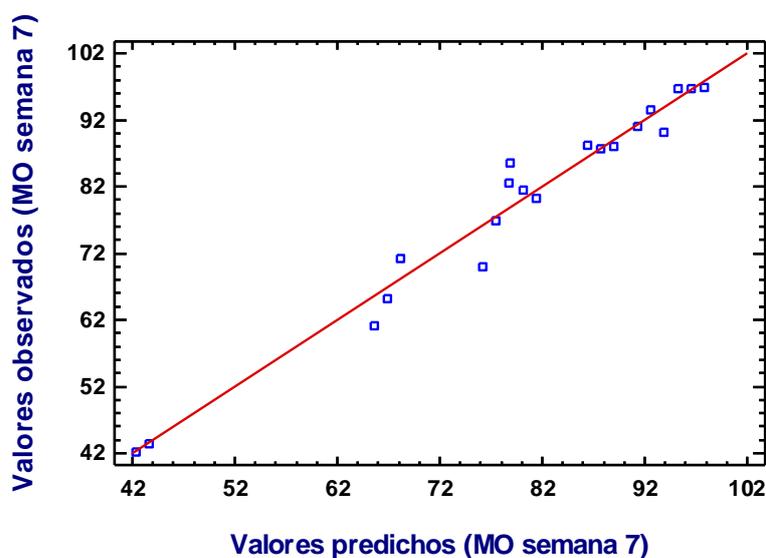
Modelo Completo de Resultados

Modelo	SE	R-Cuadrado	R-Cuadrado Ajust.
Lineal	4,3915	95,12	93,90
Cuadrático	3,47033	97,52	96,19
Especial Cúbico	3,30372	97,93	96,55

MO semana 7 = 87,7258*HOJA + 96,5191*TALLO + 42,3658*ESTIÉRCOL +
1,80394*HOJA*TALLO + 7,37728*HOJA*ESTIÉRCOL + 32,0573*TALLO*ESTIÉRCOL

Valor Optimo = 96,5191

Factor	Inferior	Mayor	Optimo
HOJA	0,0	1,0	0,0
TALLO	0,0	1,0	1,0
ESTIÉRCOL	0,0	1,0	0,0



Resumen del análisis

Nombre de fichero: C:\Program Files\Statgraphics\STATGRAPHICS Centurion XVI,1\WData\mo.sfx

Modelo Completo de Efectos Estimados para MO semana 10

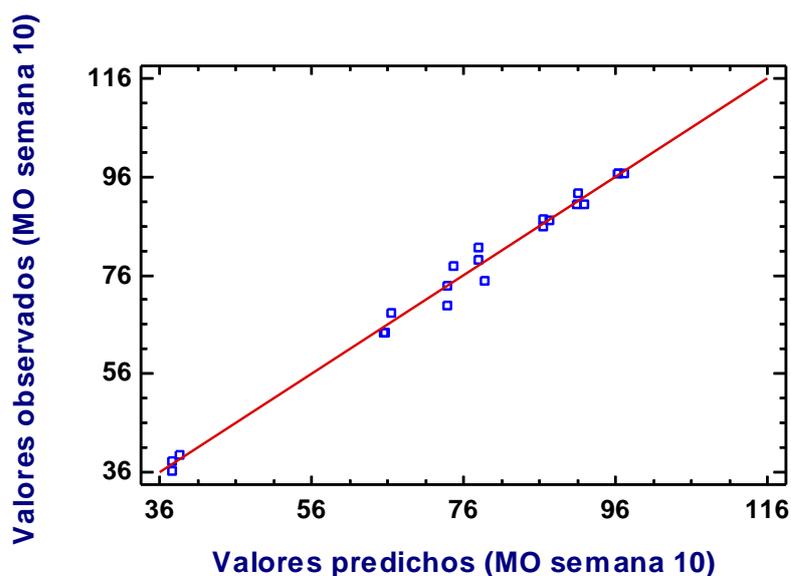
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Medio Cuadrado	F-Ratio	P-Valor
Media	120804,0	1	120804,0		
Bloques	3,67837	2	1,83919	0,00	0,9953
Lineal	6863,21	2	3431,61	269,06	0,0000
Cuadrático	131,599	3	43,8663	7,87	0,0030
Especial Cúbico	0,732366	1	0,732366	0,12	0,7324
Error	71,7308	12	5,97756		
Total	127875,0	21			

Modelo Completo de Resultados

Modelo	SE	R-Cuadrado	R-Cuadrado Ajust.
Lineal	3,57126	97,11	96,39
Cuadrático	2,36095	98,98	98,42
Especial Cúbico	2,44491	98,99	98,31

Valor Optimo = 96,6303

Factor	Inferior	Mayor	Optimo
HOJA	0,0	1,0	0,0
TALLO	0,0	1,0	1,0
ESTIERCOL	0,0	1,0	0,0



Resumen del análisis

Nombre de fichero: C:\Program Files\Statgraphics\STATGRAPHICS Centurion XVI,1\Datos\mo.sfx

Modelo Completo de Efectos Estimados para MO semana 13

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Medio Cuadrado	F-Ratio	P-Valor
Media	121725,0	1	121725,0		
Bloques	4,69269	2	2,34634	0,01	0,9938
Lineal	6582,01	2	3291,0	246,69	0,0000
Cuadrático	116,347	3	38,7824	5,19	0,0141
Especial Cúbico	28,809	1	28,809	5,06	0,0440
Error	68,2914	12	5,69095		
Total	128525,0	21			

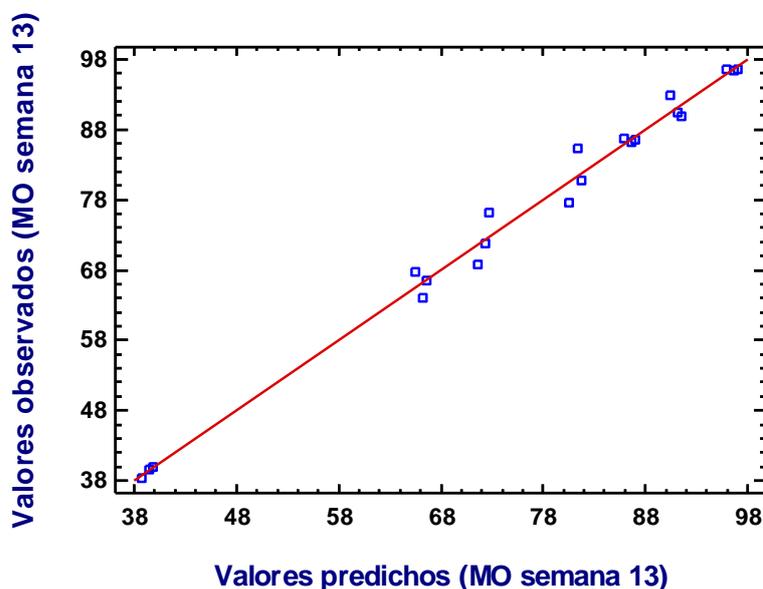
Modelo Completo de Resultados

Modelo	SE	R-Cuadrado	R-Cuadrado Ajust.
Lineal	3,65246	96,86	96,08
Cuadrático	2,73299	98,57	97,80
Especial Cúbico	2,38557	99,00	98,33

MO semana 13 = 86,49*HOJA + 96,52*TALLO + 39,3167*ESTIÉRCOL -
 1,80667*HOJA*TALLO + 12,8133*HOJA*ESTIÉRCOL + 17,3*TALLO*ESTIÉRCOL +
 106,812*HOJA*TALLO*ESTIÉRCOL

Valor Optimo = 96,52

Factor	Inferior	Mayor	Optimo
HOJA	0,0	1,0	0,0
TALLO	0,0	1,0	1,0
ESTIÉRCOL	0,0	1,0	0,0



Resumen del análisis

Nombre de fichero: C:\Program Files\Statgraphics\STATGRAPHICS Centurion XVI.1\Data\mo.sfx

Modelo Completo de Efectos Estimados para MO semana 16

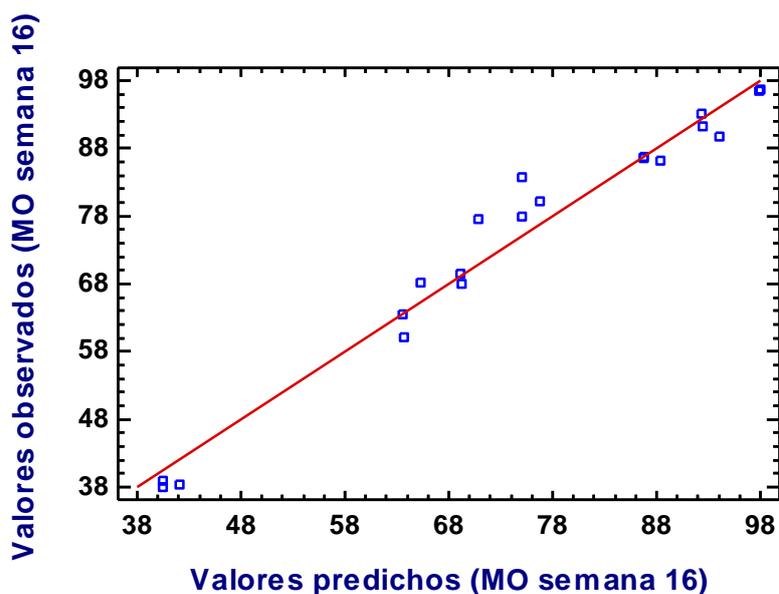
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Medio Cuadrado	F-Ratio	P-Valor
Media	120044,0	1	120044,0		
Bloques	12,7642	2	6,38208	0,02	0,9842
Lineal	6967,54	2	3483,77	249,22	0,0000
Cuadrático	92,9517	3	30,9839	3,08	0,0649
Especial Cúbico	35,1079	1	35,1079	4,41	0,0576
Error	95,6029	12	7,96691		
Total	127248,0	21			

Modelo Completo de Resultados

Modelo	SE	R-Cuadrado	R-Cuadrado Ajust.
Lineal	3,73884	96,90	96,12
Cuadrático	3,17091	98,19	97,21
Especial Cúbico	2,82257	98,67	97,79

Valor Optimo = 98,4885

Factor	Inferior	Mayor	Optimo
HOJA	0,0	1,0	0,0
TALLO	0,0	1,0	1,0
ESTIÉRCOL	0,0	1,0	0,0



ANEXO D

Muestra la información referente al análisis Lattice simplex Centroides practicado a los datos del IG.

Resumen del análisis

Nombre de fichero: C:\Program Files\Statgraphics\STATGRAPHICS Centurion XVI, I\WData\WCUADRATI

Modelo Completo de Efectos Estimados para IG semana 0

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Medio Cuadrado	F-Ratio	P-Valor
Media	32016,7	1	32016,7		
Bloques	2325,19	2	1162,59	0,45	0,6428
Lineal	24094,4	2	12047,2	8,72	0,0027
Cuadrático	11703,5	3	3901,16	4,88	0,0174
Especial Cúbico	101,616	1	101,616	0,12	0,7367
Error	10297,8	12	858,147		
Total	80539,1	21			

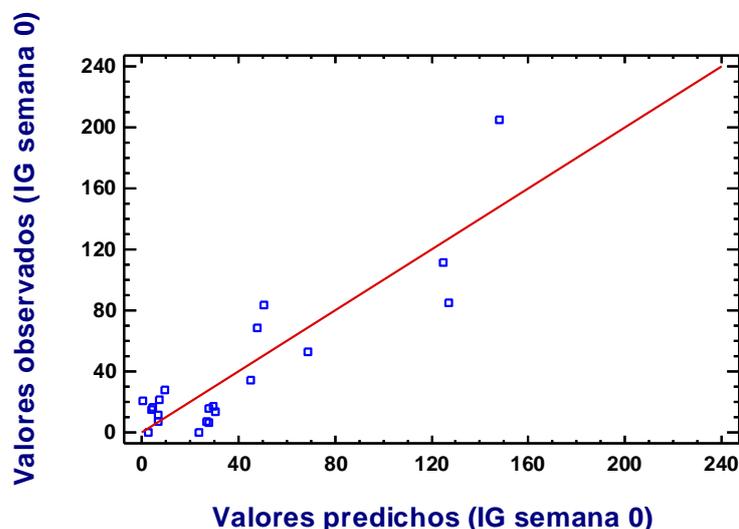
Modelo Completo de Resultados

Modelo	SE	R-Cuadrado	R-Cuadrado Ajust.
Lineal	37,1676	54,45	43,06
Cuadrático	28,2834	78,57	67,03
Especial Cúbico	29,2942	78,78	64,63

IG semana 0 = 15,4934*HOJA + 133,347*TALLO + 35,5568*ESTIERCOL - 261,669*HOJA*TALLO - 50,4354*HOJA*ESTIERCOL - 122,489*TALLO*ESTIERCOL

Valor Optimo = 133,347

Factor	Inferior	Mayor	Optimo
HOJA	0,0	1,0	0,0
TALLO	0,0	1,0	1,0
ESTIERCOL	0,0	1,0	0,0



Resumen del análisis

Nombre de fichero: C:\Program Files\Statgraphics\STATGRAPHICS Centurion XVI, I\Data\CUADRATI

Modelo Completo de Efectos Estimados para IG semana 10

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Medio Cuadrado	F-Ratio	P-Valor
Media	116229,0	1	116229,0		
Bloques	409,686	2	204,843	0,09	0,9165
Lineal	31523,6	2	15761,8	23,93	0,0000
Cuadrático	2767,02	3	922,339	1,54	0,2505
Especial Cúbico	438,716	1	438,716	0,72	0,4134
Error	7332,03	12	611,002		
Total	158700,0	21			

Modelo Completo de Resultados

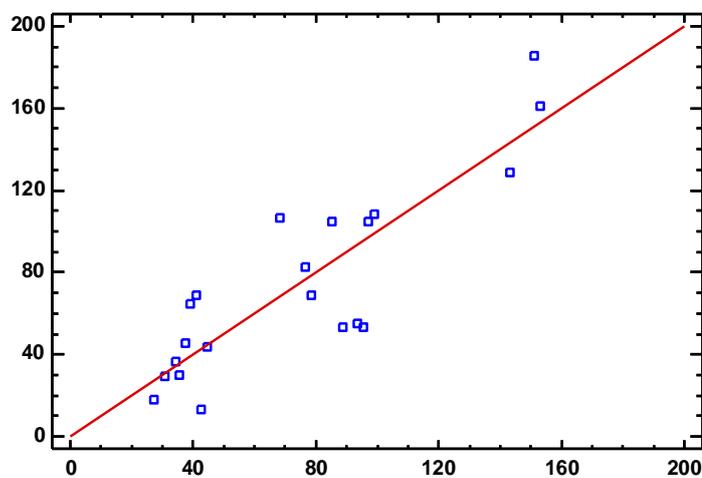
Modelo	SE	R-Cuadrado	R-Cuadrado Ajust.
Lineal	25,6634	75,19	68,99
Cuadrático	24,4489	81,70	71,85
Especial Cúbico	24,7185	82,74	71,23

$$\text{IG semana 10} = 33,4513 \cdot \text{HOJA} + 149,143 \cdot \text{TALLO} + 40,5926 \cdot \text{ESTIÉRCOL}$$

Valor Optimo = 149,143

Factor	Inferior	Mayor	Optimo
HOJA	0,0	1,0	0,0
TALLO	0,0	1,0	1,0
ESTIÉRCOL	0,0	1,0	0,0

Valores observados (IG semana 10)



Valores predichos (IG semana 10)

Resumen del análisis

Nombre de fichero: C:\Program Files\Statgraphics\STATGRAPHICS Centurion XVI, IWDData\CUADRATI

Modelo Completo de Efectos Estimados para IG semana 16

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Medio Cuadrado	F-Ratio	P-Valor
Media	207468,0	1	207468,0		
Bloques	515,341	2	257,67	0,17	0,8412
Lineal	10885,8	2	5442,9	5,56	0,0147
Cuadrático	3355,12	3	1118,37	1,18	0,3552
Especial Cúbico	1248,36	1	1248,36	1,35	0,2673
Error	11067,3	12	922,274		
Total	234540,0	21			

Modelo Completo de Resultados

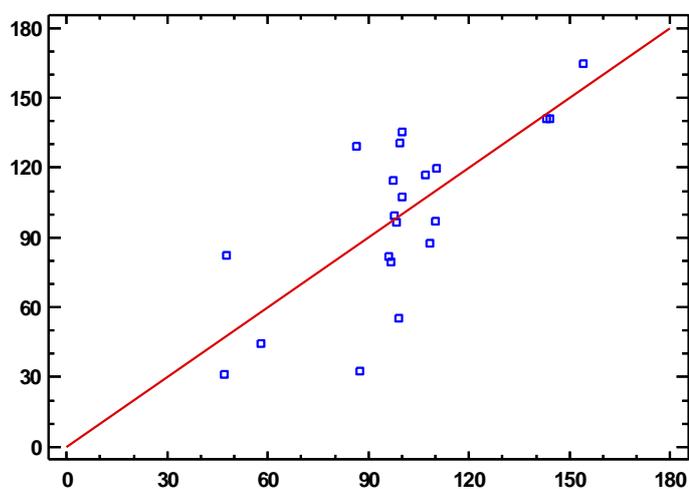
Modelo	SE	R-Cuadrado	R-Cuadrado Ajust.
Lineal	31,2957	42,11	27,64
Cuadrático	30,7792	54,51	30,01
Especial Cúbico	30,369	59,12	31,86

IG semana 16 = 90,3912*HOJA + 147,058*TALLO + 50,7912*ESTIÉRCOL -
75,2898*HOJA*TALLO + 129,51*HOJA*ESTIÉRCOL + 10,0435*TALLO*ESTIÉRCOL

Valor Optimo = 147,058

Factor	Inferior	Mayor	Optimo
HOJA	0,0	1,0	0,0
TALLO	0,0	1,0	1,0
ESTIÉRCOL	0,0	1,0	0,0

Valores observados (IG semana 16)



Valores predichos (IG semana 16)

ANEXO E

Muestra la evolución del porcentaje relativo de germinación (PRG) y del crecimiento relativo de raíz (CRR) en la evaluación de la madurez de los compost durante la degradación de los residuos

Evolución del PGR durante el compostaje de los residuos

Tratamiento	PRG/semana		
	0	10	16
I	14.92 ^{hi}	32.00 ^{gh}	68.3 ^{cde}
II	73.68 ^{bcd}	93.00 ^{ab}	98.2 ^a
III	45.65 ^{fg}	61.67 ^{def}	84.8 ^{abc}
IV	10.53 ^g	81.67 ^{abcd}	100.0 ^a
V	12.28 ^{hi}	80.00 ^{aabcd}	102 ^a
VI	36.84 ^g	83.33 ^{abc}	99.1 ^a
VII	6.19 ⁱ	48.33 ^{efg}	83.9 ^{abc}

I (Bagazo), II (Tallo), III (Estiércol), IV (Bagazo + Estiércol), V (Bagazo + Tallo + Estiércol), VI (Tallo + estiércol) y VII (Bagazo + Tallo). Letras diferentes entre columnas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$).