

UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS
DIVISIÓN DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
COORDINACIÓN DE POSGRADO EN CIENCIAS AGRÍCOLAS Y FORESTALES



**EFFECTO DE LA COMPOSTA DE RESIDUOS SÓLIDOS
MUNICIPALES SOBRE ALGUNAS PROPIEDADES DEL
SUELO Y LA PRODUCCIÓN DE MAÍZ**

Marcos Rafael Crespo González

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS AGRÍCOLAS Y FORESTALES

Las Agujas, Zapopan, Jalisco. Mayo del 2006

UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS
COORDINACIÓN DE POSGRADO



La tesis titulada: **“Efecto de la composta de Residuos Sólidos Municipales en algunas propiedades del suelo y la producción del maíz”**, se desarrolló bajo la dirección del Consejo Particular que se indica, fue aprobada por el mismo y se aceptó como requisito parcial para la obtención del grado de:

MAESTRÍA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS Y FORESTALES

Consejo Particular:

Tutor:


Dr. Diego Raymundo González Eguiarte

Asesor:


M.C. Ernesto Alonso Miramontes Lau

Asesor:


M.C. Ricardo Nuño Romero

Asesor:


Dr. Rogelio Lépiz Idelfonso

Asesor:


M.C. Patricia Zarazúa Villaseñor

Las Agujas, Zapopan, Jalisco, Mayo del 2006

Agradecimientos:


A la Universidad de Guadalajara y el CUCBA, por todas las facilidades y apoyo otorgadas para mi desarrollo profesional.

A mi director y asesores: Dr. Diego R. González Eguiarte, M.C. Enesto Miramontes Lau y M.C. Ricardo Nuño Romero, por su ayuda extraordinaria y consejos para la realización de esta tesis. Así como también al Dr. Mario Abel García Vazquez (q.p.d.) por su asesoría en la fase inicial del proyecto.

A la empresa Caabsa Eagle, S.A., por la siempre amable atención recibida de ellos y el financiamiento brindado para la ejecución de este trabajo.

A mis compañeros y amigos del Departamento de Desarrollo Rural Sustentable: Pablo Torres, Paty Zarazúa, Guadalupe Sánchez, Jaime Mendoza, Patricio Castro, Fernando López y Rogelio Huerta, por su constante estímulo para concluir esta última fase del posgrado.

Al personal del Laboratorio de Suelos y de Producción de Semillas, por sus muy sinceras muestras de colaboración y amistad.

 Con dedicación muy especial para:

Mi esposa: María del Carmen Osuna González,

Mis hijos: Marcos Ricardo y Rafael Alejandro

Mis padres: Dora y Rafael (q.p.d.),

Mis hermanas y sobrina: Marce, Ara y Mayra

...por su comprensión y cariño.

CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE CUADROS.....	i
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ii
RESUMEN.....	iii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1 Orígenes del proceso de compostaje de residuos sólidos Municipales (RSM).....	3
2.1.1 Antecedentes en el mundo.....	3
2.1.2 Antecedentes en México.....	4
2.1.3 Compostaje de RSM en Tonalá, Jalisco.....	6
2.2 El proceso de compostaje y la composta.....	7
2.2.1 Orígenes.....	7
2.2.2 Compostaje y composta: conceptos y definiciones.....	8
2.2.3 Características del proceso.....	9
2.2.4 Requerimientos básicos para el compostaje.....	12
2.2.5 Características de la composta madura.....	12
2.2.6 Degradación de la composta en el suelo.....	13
2.3 Riesgos ambientales por el uso de composta de RSM.....	15
2.3.1 Metales pesados.....	15
2.3.2 Patógenos y parásitos.....	16
2.4 Efectos de la composta de RSM en el suelo.....	16
2.4.1 Efectos en las propiedades físicas.....	16
2.4.2 Efectos en las propiedades químicas.....	17
2.5 Uso de composta de RSM en la producción agrícola.....	17
2.5.1 Formas de aplicación en el terreno.....	17
2.5.2 Aplicación en el cultivo de maíz.....	18
III. OBJETIVOS E HIPÓTESIS.....	20
IV. MATERIALES Y MÉTODOS.....	21
4.1 Localización del sitio experimental.....	21
4.2 Condiciones ambientales.....	21
4.2.1 Clima.....	21
4.2.2 Geología.....	22
4.2.3 Suelos.....	23
4.2.4 Topografía.....	24
4.3 Descripción de la composta de RSM.....	24

	Página
4.4 Características del maíz utilizado	24
4.5 Desarrollo del experimento	25
4.5.1 Equipo y materiales.....	25
4.5.2 Diseño experimental.....	25
4.5.3 Establecimiento y conducción del experimento	29
4.6 Caracterización de la composta de RSM y suelos	31
4.6.1 Muestreo de la composta de RSM.....	31
4.6.2 Análisis químicos, físicos y de patógenos de la composta....	31
4.6.3 Muestreo de suelos y determinaciones en campo.....	32
4.6.4 Análisis físicos y químicos de suelos.....	34
4.7 Análisis estadístico	35
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	36
5.1 Caracterización de la composta de RSM	36
5.1.1 Características químicas.....	36
5.1.2 Tamaño de partículas	36
5.1.3 Contenido de metales pesados.....	37
5.1.4 Contenido de patógenos y parásitos.....	38
5.2 Efecto de los experimentos en las propiedades de los suelos ...	38
5.2.1 Propiedades físicas.....	38
5.2.2 Propiedades químicas.....	40
5.2.3 Análisis de la respuesta del calcio en los tratamientos.....	41
5.3 Efectos de los tratamientos en el rendimiento de maíz	49
5.3.1 Rendimiento de grano.....	49
5.3.2 Rendimiento de biomasa.....	57
5.4 Análisis combinado entre ambientes	64
5.4.1 Expectativas del análisis combinado.....	64
5.4.2 Efecto sobre el calcio del suelo.....	64
5.4.3 Efecto sobre el rendimiento del grano.....	66
5.4.4 Efecto sobre el rendimiento de biomasa.....	67
VI. CONCLUSIONES	69
VII. BIBLIOGRAFÍA	70

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
CUADRO 1. Tamaño de partículas de composta y usos	12
CUADRO 2. Estándares de compostas maduras	13
CUADRO 3. Resultado del análisis químico inicial del suelo	23
CUADRO 4. Descripción de las condiciones de los experimentos	26
CUADRO 5. Experimento 1: Tratamientos con aplicación de composta en banda sin incorporar al suelo y 50% de fertilizante	26
CUADRO 6. Experimento 2: Tratamientos con aplicación de composta en banda sin incorporar al suelo y sin fertilizante	27
CUADRO 7. Experimento 3: Tratamientos con aplicación de composta al voleo incorporada al suelo y con 50% de fertilizante	27
CUADRO 8. Experimento 4: Tratamientos con aplicación de composta al voleo incorporada al suelo y sin fertilizante	28
CUADRO 9. Variables de estudio	28
CUADRO 10. Análisis químicos y físicos de la composta y sus técnicas de determinación	32
CUADRO 11. Técnicas para la determinación de patógenos de lodos y biosólidos	32
CUADRO 12. Análisis físicos de suelos y sus técnicas de determinación	34
CUADRO 13. Análisis químicos de suelos y sus técnicas de determinación	34
CUADRO 14. Caracterización química de la composta de RSM	36

	Página
CUADRO 15. Contenido de metales pesados en la composta de RSM	37
CUADRO 16. Caracterización microbiológica de organismos patógenos de la composta de RSM	38
CUADRO 17. Contenido promedio de calcio en el suelo del Experimento 1	42
CUADRO 18. Análisis de varianza de calcio en el suelo del Experimento 1	42
CUADRO 19. Análisis de contrastes de calcio en el suelo del Experimento 1	43
CUADRO 20. Contenido promedio de calcio en el suelo del Experimento 2	44
CUADRO 21. Análisis de varianza de calcio en el suelo del Experimento 2	44
CUADRO 22. Análisis de contrastes de calcio en el suelo del Experimento 2	45
CUADRO 23. Contenido promedio de calcio en el suelo del Experimento 3	46
CUADRO 24. Análisis de varianza de calcio en el suelo del Experimento 3	46
CUADRO 25. Análisis de contrastes de calcio en el suelo del Experimento 3	47
CUADRO 26. Contenido promedio de calcio en el suelo del Experimento 4	48
CUADRO 27. Análisis de varianza de calcio en el suelo del Experimento 4	48
CUADRO 28. Análisis de contrastes de calcio en el suelo del Experimento 4	48

	Página
CUADRO 29. Rendimiento promedio de grano del Experimento 1	50
CUADRO 30. Análisis de varianza de grano del Experimento 1	50
CUADRO 31. Análisis de contrastes de grano del Experimento 1	50
CUADRO 32. Rendimiento promedio de grano del Experimento 2	51
CUADRO 33. Análisis de varianza de grano del Experimento 2	52
CUADRO 34. Análisis de contrastes de grano del Experimento 2	52
CUADRO 35. Rendimiento promedio de grano del Experimento 3	53
CUADRO 36. Análisis de varianza de grano del Experimento 3	53
CUADRO 37. Análisis de contrastes de grano del Experimento 3	54
CUADRO 38. Rendimiento promedio de grano del Experimento 4	55
CUADRO 39. Análisis de varianza de grano del Experimento 4	56
CUADRO 40. Análisis de contrastes de grano del Experimento 4	56
CUADRO 41. Rendimiento promedio de biomasa del Experimento 1	57
CUADRO 42. Análisis de varianza de biomasa del Experimento 1	57
CUADRO 43. Análisis de contrastes de biomasa del Experimento 1	58
CUADRO 44. Rendimiento promedio de biomasa del Experimento 2	59
CUADRO 45. Análisis de varianza de biomasa del Experimento 2	59
CUADRO 46. Análisis de contrastes de biomasa del Experimento 2	60
CUADRO 47. Rendimiento promedio de biomasa del Experimento 3	61
CUADRO 48. Análisis de varianza de biomasa del Experimento 3	61
CUADRO 49. Análisis de contrastes de biomasa del Experimento 3	61
CUADRO 50. Rendimiento promedio de biomasa del Experimento 4	62
CUADRO 51. Análisis de varianza de biomasa del Experimento 4	63
CUADRO 52. Análisis de contrastes de biomasa del Experimento 4	63
CUADRO 53. Contenido promedio de calcio en el suelo de los ambientes	64
CUADRO 54. Análisis combinado de calcio del suelo entre los ambientes	65

CUADRO 55. Análisis de contrastes de calcio del suelo entre los ambientes	65
CUADRO 56. Rendimiento promedio de grano en los ambientes	66
CUADRO 57. Análisis combinado de grano entre los ambientes	66
CUADRO 58. Análisis de contrastes grano entre los ambientes	66
CUADRO 59. Rendimiento promedio de biomasa en los ambientes	67
CUADRO 60. Análisis combinado de biomasa entre los ambientes	68
CUADRO 61. Análisis de contrastes biomasa entre los ambientes	68

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
FIGURA 1. Vista de las pilas de composta en la planta de procesamiento Los Laureles en Tonalá	7
FIGURA 2. Cambios de temperatura de una pila de composta promedio (Cooperband, 2002)	10
FIGURA 3. Localización del sitio experimental: Carta INEGI F13-D35, Guadalajara Oeste (2003)	21
FIGURA 4. Variación de la temperatura y precipitación pluvial durante el período de prueba	22
FIGURA 5. Aplicación de la composta al voleo en el sitio experimental	30
FIGURA 6. Incorporación de la composta con la rastra	30
FIGURA 7. Distribución del tamaño de partículas de la composta	37
FIGURA 8. Modelo de calcio en el suelo del Experimento 1	43
FIGURA 9. Modelo de calcio en el suelo del Experimento 2	45
FIGURA 10. Modelo de calcio en el suelo del Experimento 3	47
FIGURA 11. Modelo de calcio en el suelo del Experimento 4	49
FIGURA 12. Modelo de rendimiento de grano del Experimento 1	50
FIGURA 13. Modelo de rendimiento de grano del Experimento 2	53
FIGURA 14. Modelo de rendimiento de grano del Experimento 3	54
FIGURA 15. Modelo de rendimiento de grano del Experimento 4	56
FIGURA 16. Modelo de rendimiento de biomasa del Experimento 1	58
FIGURA 17. Modelo de rendimiento de biomasa del Experimento 2	60
FIGURA 18. Modelo de rendimiento de biomasa del Experimento 3	62
FIGURA 19. Modelo de rendimiento de biomasa del Experimento 4	63

RESUMEN

La basura urbana, conocida también como residuos sólidos municipales (RSM), representa en la actualidad uno de los principales problemas ecológicos de la humanidad y requiere de soluciones que signifiquen riesgos mínimos al ambiente, como por ejemplo, el reciclaje. Uno de los métodos más antiguos y naturales que se conocen, para reciclar la fracción orgánica de los RSM, es el compostaje, el cual se originó en Europa a mediados de los años 40's. En los países desarrollados, existe la cultura y se cuenta con tecnologías muy avanzadas en este campo, mientras que en México ésta es una actividad incipiente, que requiere de un mayor impulso para desarrollarse extensivamente y con mayores estándares de calidad. Precisamente, una de las pocas plantas productoras de composta de RSM del país se localiza en Tonalá, Jalisco. La composta es el producto que resulta del proceso de compostaje y se caracteriza por ser un material estabilizado, libre de patógenos, semillas de maleza, e inertes (vidrio, metal, plásticos); su uso es muy benéfico para las plantas y el suelo. Sin embargo, por el tipo de materias primas que se utiliza para elaborar composta de RSM, se debe de cuidar los parámetros de calidad del producto, particularmente el contenido de metales pesados y organismos patógenos. Los objetivos del presente trabajo fueron cuatro: 1) Caracterizar la composta de RSM producida en Tonalá, Jalisco; 2) Analizar los efectos de la aplicación de tres niveles de composta de RSM en algunas propiedades físicas y químicas del suelo; 3) Comparar dos formas de aplicación en el cultivo de maíz, y 4) Comparar los efectos de la aplicación de composta de RSM y fertilizantes químicos en el rendimiento de maíz. Se realizó un trabajo experimental con maíz de temporal en los terrenos del CUCBA, en donde se probaron cuatro ambientes con cinco tratamientos cada uno, siguiendo un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones. Los ambientes que se probaron fueron los siguientes: a) Aplicación de composta en banda sin incorporar y con el 50% de fertilizante; b) Aplicación de composta en banda sin incorporar y sin fertilizante; c) Aplicación de composta al voleo incorporada y con el 50% de fertilizante, y d) Aplicación de composta al voleo incorporada y sin fertilizante. Las variables de estudio del suelo fueron: MO, pH, CIC, N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn, Na, Zn, B, más la densidad aparente y la compactación; las variables del maíz, fueron el rendimiento de grano y biomasa. Los resultados de la caracterización de composta mostraron que el material tuvo varios estándares normales, pero algunos de ellos deberían de corregirse, como: baja humedad, muy baja relación C:N, textura demasiado fina, y falta de estabilidad. Así mismo, el producto no tuvo restricciones para uso agrícola con respecto al contenido de metales pesados y poblaciones de organismos patógenos. Concerniente al suelo, la evaluación estadística de los resultados solamente determinó efectos significativos parciales en Cu y completos en Zn y

Ca, es decir, en todos los ambientes estudiados. Prácticamente, la composta no influyó en la densidad aparente ni el estado de compactación del suelo. La evaluación del rendimiento de grano y biomasa de maíz, dio por resultado que hubo diferencias significativas al aplicar 30 t/ha de composta y su aplicación en banda. En todos los casos sobresalió el rendimiento de grano y biomasa con la aplicación en banda respecto a la aplicación al voleo. Igualmente se comprobó que la aplicación de composta podría ser una opción para reducir el uso de fertilizantes químicos.

I. INTRODUCCIÓN

Desde el punto de vista ecológico, la basura urbana es una materia prima potencialmente reciclable, sin embargo representa también un riesgo importante de contaminación ambiental a causa del manejo que implica transportarla y desecharla a través de la combustión o disposición en rellenos sanitarios. En consecuencia, su manejo se ha convertido en un tema de constante preocupación en el ámbito de la protección ambiental.

El problema del manejo de la basura urbana, también llamada "residuos sólidos municipales" (RSM), puede ser resuelto retornando lo mejor posible los materiales de desecho a los ciclos naturales; uno de los métodos más antiguos y naturales para reciclar la fracción orgánica de los RSM es el proceso de compostaje (Fricke *et al.*, 1989).

El compostaje de RSM es de gran utilidad en la prevención y reducción de la contaminación ambiental. Por ejemplo, los RSM generan metano a través de la descomposición anaerobia de los rellenos sanitarios, mientras que en el ambiente aerobio de una pila de compostaje produce CO₂, pero el efecto contaminante del metano es 22 veces mayor que el CO₂ en el proceso de calentamiento global del planeta (Garland *et al.*, 1995).

Así mismo, la composta puede reducir la contaminación de metales pesados al fijarlos en el humus que contienen y evitar con ello que se contamine el agua y las plantas, de manera que, tanto humanos como animales, no son afectados por éstos tóxicos. Además sirve para degradar o eliminar completamente la contaminación de suelos dañados por petróleo, pesticidas, hidratos de carbono clorados y no clorados (Garland *et al.*, 1995).

La composta de RSM es también un recurso potencial para mejorar las propiedades físicas y químicas de los suelos agrícolas, y puede ser un medio eficaz para incrementar la producción de alimentos. En este sentido, el material puede contrarrestar el efecto progresivo de empobrecimiento de suelos, causada por el decremento de la materia orgánica de suelos intensivamente cultivados, como está sucediendo en Zapopan, importante productor de maíz.

Ibarra (2005), reporta que el 61% de los suelos de este municipio son muy pobres en materia orgánica (<1%), mientras que el resto está catalogado como pobre (1-2%). Este mismo autor estima también que el 61.1% de los suelos tiene un pH fuertemente ácido (pH 4.2 – 5.6) que incide negativamente en el rendimiento de maíz. La situación actual de los suelos de Zapopan, refleja no solamente una realidad regional, sino un problema que con seguridad afecta a la mayoría de los suelos agrícolas de México.

Los RSM representan una abundante fuente de abastecimiento para la producción de composta en el mundo que podría ser mejor aprovechada. En México, la composición de material orgánico biodegradable de los RSM de las zonas urbanas es alrededor del 50%, pero terminan en los rellenos sanitarios (González del Carpio, 1998). Sin embargo, en años recientes se ha documentado la producción modesta de composta de RSM en las ciudades de México, Guadalajara y Mérida (González y Morales 2002).

Por otra parte, la investigación agrícola de compostas de RSM es sumamente escasa. Es por esta razón, que se desconoce en qué medida pueden esperarse sus efectos benéficos en el suelo y en la producción de alimentos. Tampoco se conocen los posibles riesgos de su aplicación, debido a la presencia metales pesados y microorganismos patógenos que pudieran sobrepasar los límites ecológicos aceptables.

Con base en lo anterior, la empresa Caabsa Eagle, S.A. y el Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CUCBA) de la Universidad de Guadalajara, suscribieron un acuerdo de colaboración, en el cual quedó establecido el compromiso mutuo para la realización del presente trabajo de investigación.

La investigación consistió en evaluar los efectos de la composta de RSM sobre algunas propiedades del suelo y la producción de biomasa y grano en el cultivo de maíz.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Orígenes del compostaje de residuos sólidos municipales

2.1.1 Antecedentes en el mundo

► Inicios en Europa

De acuerdo con Brinton y Brinton (1992), el compostaje de residuos sólidos municipales (RSM) se encuentra entre los métodos a gran escala más antiguos que se conocen. Se originó en el período comprendido entre mediados de los años 40's hasta inicios de la posguerra. El diseño de las plantas de tratamiento de RSM europeas se esparció por todo el mundo y alcanzó su máxima expresión a finales de los 60's. Posteriormente, se dio un decremento en el número de plantas y hasta 1992 solo existían la mitad de las que había a comienzos de los 70's.

La explicación a esta decadencia en el compostaje tradicional de RSM se puede dar en dos sentidos: 1) La gradual pérdida de confianza de los consumidores como resultado de la pobre apariencia del producto, y 2) La inaceptable concentración de contaminantes comparado con las compostas producidas a partir de materiales separados desde su origen. En Europa, hasta los años 70's, era común la práctica de producir composta sin separar la basura (Hangen, 1991).

En vista de lo anterior, desde finales de los 70's y durante la década de los 80's se llevaron a cabo en Europa, y particularmente en Alemania, una extensa cantidad de investigaciones en el campo de los contaminantes. De ello resultó la nueva tendencia a rediseñar el proceso de compostaje hacia la producción de composta con desechos previamente separados (Wiemer, 1992).

A este respecto, Brinton y Brinton (1992) sostienen que los europeos bautizaron al nuevo concepto de producción de composta, como "composta de basura biológica" (Bio-waste compost o Bioabfall Kompost), la cual contiene residuos domésticos e industriales de comida así como desechos de jardinería. Los residuos de papel estarían condicionados a que las tintas no contengan cantidades de metales pesados fuera de los límites ecológicos permisibles.

En síntesis, estos autores estimaron que las conclusiones más importantes a las que llegaron los investigadores europeos en cuanto a la producción de composta con residuos urbanos previamente separados fueron las siguientes:

- La separación de la basura debiera de realizarse de tal manera, que en lo posible los desechos se puedan reutilizar.
- Debe de reducirse al máximo la innecesaria mezcla de desechos para evitar la contaminación del medio ambiente.
- Los componentes dañinos y peligrosos de la basura deben de tratarse de la manera más apropiada y efectiva posible y no a través del compostaje.

► Antecedentes en Estados Unidos

La historia del compostaje de RSM en los Estados Unidos se remonta también a los últimos 40 años. El interés en esta tecnología creció rápidamente a fines de los 80's y principios del los 90's; desde entonces se apreció un ligero decremento.

En 1992 existían 21 plantas en operación mientras que en noviembre de 1999 su número se redujo a 19. En 1996 cerca del 10.2 millones de toneladas fueron composteadas, representando el 5.4% del peso de todos los residuos sólidos municipales. No toda la composta de RSM es comercializada, sino que una parte del material se utiliza para cubrir los rellenos sanitarios (70%), otra es donada a agricultores y una menor proporción se destina a la horticultura tecnificada (EPA, 1998; Glenn y Block, 1999 y Mamo *et al.*, 2002). En los Estados Unidos, cada vez más las autoridades han adoptado acciones de separación de la basura (McConnell *et al.*, 1993).

En síntesis, de acuerdo con la literatura consultada, el compostaje de RSM es un procedimiento de aplicación común en países desarrollados y en menor escala en algunos países en vías de desarrollo, tales como: China, India, Pakistán, Arabia, Egipto, Brasil y México.

2.1.2 Antecedentes en México

En un informe presentado por González y Morales (2002), técnico de la Dirección de Servicios Urbanos de la Ciudad de México y el gerente de INCREMI (empresa de consultoría ambiental) respectivamente, aseguran que a principios de los 70's en México se consideraba al reciclaje orgánico una de las más importantes opciones a la solución del problema del manejo de los residuos sólidos municipales (RSM).

En este sentido, en 1972 el ayuntamiento de Monterrey construyó una planta de compostaje de RSM, en la cual la calidad fue un problema, de tal suerte, que la

composta nunca se vendió, llegándose a acumular hasta 120 mil toneladas, mismas que se incendiaron llevando a la ruina la planta en 1986.

En 1974 el gobierno de la Ciudad de México construyó una planta de compostaje de RSM en San Juan de Aragón. La planta inició con una capacidad de 225 toneladas al día, sin embargo, el producto estaba tan contaminado con plásticos y vidrio que los agricultores no lo aceptaron. Aunado a lo anterior, el equipo no tuvo el mantenimiento adecuado y finalmente la planta fue desmantelada en 1992.

En el estado de Oaxaca se instaló otra planta de compostaje, y en un inicio regalaba la composta a los agricultores con resultados más o menos exitosos. A principios de los 80's desafortunadamente la administración municipal la vendió, pero como la composta siempre estuvo contaminada, nadie la compró y la planta tuvo que ser cerrada.

En 1984 se construyeron dos plantas de compostaje de RSM en Tonalá y en Zapopan, Jalisco, pero de nuevo, ambas tuvieron que cerrar debido a la baja calidad de la composta. No obstante, para 1994 la planta de Tonalá fue adquirida por la empresa mexicana Caabsa Eagle, S.A. la cual reinició operaciones. A este respecto Jorge Altamirano (2004), gerente de comercialización de la empresa, sostiene que se produce alrededor de una tonelada de composta al día y su venta se canaliza para jardinería y viveros particulares.

Para 1993 se construyó otra planta en la ciudad de Mérida, Yucatán. La empresa ha tenido algunos problemas de operación por lo que no ha sido fácil sostener un mercado consistente. En realidad la planta trabaja intermitentemente pero suficientemente bien de acuerdo a su capacidad instalada.

También en 1993 la ciudad de Villahermosa, Tabasco, adquirió una planta con tecnología francesa y es, supuestamente, la que cuenta con la tecnología más avanzada del país. Sin embargo, no está en funcionamiento a causa de que el municipio nunca consideró los altos costos de su operación.

En resumidas cuentas, por décadas los proyectos llevados cabo a gran escala en México para producir composta de RSM no han funcionado del todo bien. No obstante, se han desarrollado paralelamente y con éxito, varias empresas de menor tamaño, destinadas al compostaje de desechos de jardinería en los estados de México, Morelos y Yucatán, así como en la UNAM, Cuautitlán Izcalli, Uruapan, León y Valle del Mezquital.

González y Morales (2002) concluyen que es necesario elaborar un plan nacional que promueva el desarrollo de tecnologías de compostaje y del mercado de productos. También sugieren que se realicen estudios serios de factibilidad y contar con asesoría especializada para mejorar la calidad y la eficiencia en la producción de composta.

2.1.3 El compostaje de RSM en Tonalá, Jalisco

► Antecedentes

De acuerdo con Altamirano (2004), la empresa pertenece a la división ecológica del Grupo Caabsa e inició operaciones en febrero de 1995 en la ciudad de Guadalajara, Jalisco, con la concesión del H. Ayuntamiento Constitucional de la ciudad para el manejo integral de los residuos sólidos.

Su función específica es recolectar y transferir la basura generada por los municipios de Guadalajara y Tonalá hacia su Planta Procesadora "Los Laureles", localizada en el municipio de Tonalá, con 74 hectáreas de extensión. Allí se procesan al día aproximadamente 850 toneladas de residuos sólidos no peligrosos, es decir, se separan y recuperan los que pueden ser reciclados, y aquellos no aprovechables se depositan en un relleno sanitario.

► Sitio y proceso de separación de la basura

La operación en la Planta "Los Laureles" inicia en el patio de recepción en donde se pesan los residuos urbanos no separados y los que sí están separados, como parte del programa de separación de residuos que involucra la participación de los habitantes de 15 colonias de Guadalajara. Posteriormente, los desechos no separados son vertidos en la Nave de Selección y Molienda, en donde son depositados en bandas transportadoras de neopreno para ser separados manual y mecánicamente de acuerdo al tipo de residuos en tres categorías:

- *Material de rechazo*: No reciclable, destinado al relleno sanitario.
- *Material inorgánico*: Material con valor en el mercado del reciclaje.
- *Material orgánico*: Material convertible en composta mezclado con inertes (vidrio, plástico y metal) de tamaño pequeño.

► El proceso de compostaje de Caabsa Eagle

La composta se somete a un proceso de compostaje en pilas de aproximadamente 2.5 a 3 m de altura y 3 a 4 m de diámetro, las cuales son volteadas regularmente con bulldozer para controlar la aireación y humectación del material. El proceso normalmente dura 90 días (**Figura 1**).

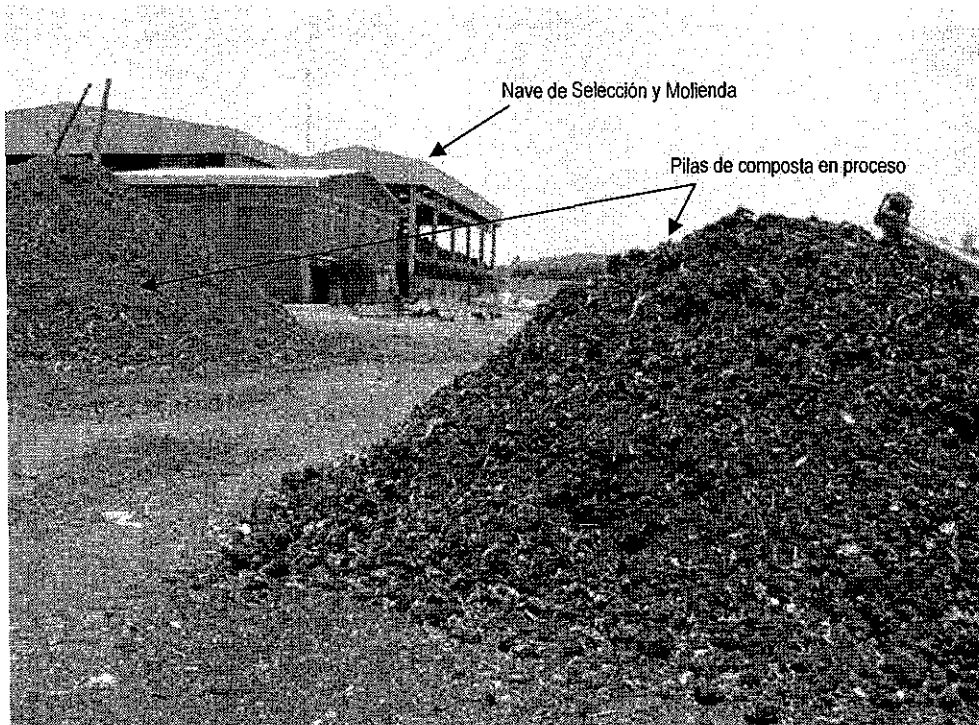


Figura 1. Vista de las pilas de composta en la planta de procesamiento Los Laureles en Tonalá.

Una parte de la materia prima utilizada proviene de la Nave de Selección y Molienda que es mezclada con la basura orgánica del programa de separación.

El color típico de la composta es café oscuro y está casi totalmente libre de vidrios, plásticos y metales, ya que al final del proceso de compostaje el material es cribado mecánicamente, para obtener un producto estéticamente limpio y con una composición de partículas predominantemente muy fina.

De la cantidad total de residuos sólidos que ingresan cada día a la planta (850 toneladas), alrededor del 0.12% es convertido en composta, el 2% lo constituyen subproductos inorgánicos recuperados para su reutilización y el 97.8% restante se destina al relleno sanitario. La composta producida se comercializa en viveros particulares, supermercados para jardinería o bien se vende a floricultores.

2.2 El proceso de compostaje y la composta

2.2.1 Orígenes

Stoffela y Kahn (2001), hacen referencia a evidencias sobre el uso de composta en tablillas de arcilla encontradas en el Valle de Mesopotamia, en épocas del Imperio Asirio, mil años antes de Moisés. Por otra parte, Cooperband (2002), menciona que el compostaje es una técnica milenaria practicada desde el tiempo de los antiguos romanos; de hecho, existen relatos bíblicos del mismo.

Ahora el compostaje se practica desde pequeña escala, en los propios hogares, hasta a escala comercial con grandes volúmenes de desperdicios.

2.2.2 Compostaje y composta: Conceptos y definiciones

Para esclarecer conceptos se presentan a continuación algunas definiciones sobre compostaje y composta.

► COMPOSTAJE:

- El Thompson (2001), de los Estados Unidos, lo define como un proceso de degradación natural que es controlado y acelerado en instalaciones diseñadas para ello. El compostaje es la transformación de materiales biológicamente degradables a través de procesos controlados de biooxidación que dan por resultado la liberación de bióxido de carbono, agua y minerales, así como la producción de materia orgánica estabilizada (composta o humus) que es biológicamente activa.
- Para el Colegio Escocés de Agricultura (Scottish Agricultural College, 2001), el compostaje es la descomposición controlada y la apropiada estabilización de materiales orgánicos mezclados bajo condiciones aeróbicas, que permiten el desarrollo de temperaturas termofílicas como resultado del calor producido biológicamente.
- Cooperband (2002), define al compostaje como el proceso natural de degradación de residuos orgánicos, pero a través de la descomposición controlada. El compostaje transforma los desechos orgánicos "crudos" en sustancias húmicas estables que sirven como un excelente mejorador de suelos.

► COMPOSTA:

- Para Zucconi y Bertoldi (1987), la composta es el producto estabilizado, sin microorganismos patógenos que resulta del proceso de compostaje y que es

benéfico para el crecimiento de las plantas. Ha sido sometido a un estado inicial de rápida descomposición y se encuentra en proceso de humificación.

- El Colegio Escocés de Agricultura (Scottish Agricultural College, 2001), define la composta como cualquier producto del proceso de compostaje que está efectivamente libre de patógenos, semillas de maleza y cualquier contaminante inerte (vidrio, metal, plástico), y que está en condiciones adecuadas para cumplir un propósito definido.

2.2.3 Características del proceso

El compostaje se desarrolla a través de la actividad de microorganismos que se encuentran de manera natural en el ambiente, principalmente bacterias, hongos y actinomicetos (Stoffela y Kahn, 2001). Los microorganismos pueden aprovechar la materia orgánica fresca, o la previamente descompuesta, como elementos constitutivos para la formación de sus propias estructuras celulares, con lo cual se transforman las sustancias orgánicas e inorgánicas simples, en nuevas sustancias orgánicas complejas derivadas del intercambio de elementos nutritivos (Kämpfer y Weissenfels, 2001).

La actividad microbiana, que se activa por el proceso de degradación orgánica, libera energía en forma de calor metabólico y permite distinguir cuatro fases en el proceso de compostaje, en función de los cambios de temperatura (Stoffela y Kahn, 2001; Cooperband, 2001).

1. **Primera fase mesófila** (ascendente): La abundancia de alimento en esta fase ocasiona que los microorganismos se vuelvan muy activos, incrementándose la temperatura entre 25 a 45 °C.
2. **Fase termófila** (ascendente): La temperatura sobrepasa los 45 °C y puede alcanzar niveles entre 65 a 70 °C. La actividad microbiana llega a su clímax; se le conoce como *fase activa* del compostaje y se mantiene durante varias semanas. Estas elevadas temperaturas matan patógenos, semillas de maleza y se descomponen compuestos fitotóxicos.
3. **Segunda fase mesófila** (descendente): Sucede cuando la fuente de alimento decrece, por lo tanto la temperatura baja paulatinamente y tiende hacia el enfriamiento.
4. **Fase de maduración**: El abastecimiento de alimento aprovechable está agotado y la temperatura de la composta se iguala con la temperatura ambiental.

Para Cooperband (2001), las dos últimas fases, segunda termófila y maduración, comprenden la *fase de curado* (curing phase), en la cual el consumo de oxígeno se reduce hasta el punto en que la composta puede quedarse sin ser volteada para oxigenarse. Así mismo, los materiales continúan descomponiéndose por los microorganismos y son biológicamente convertidos en sustancias húmicas estables, es decir, en composta madura o terminada.

La misma autora sostiene que el curado es crítico, y con frecuencia no se practica, siendo que es muy necesaria su aplicación si la composta está inmadura o sin terminar. Esto puede ocurrir si la pila de composta ha recibido poco oxígeno, o en su caso, poca o demasiada humedad.

La composta inmadura puede contener altos niveles de ácidos orgánicos, alta relación C:N, pH extremo o elevado contenido de sales, mismos que pueden dañar a las plantas.

No está claramente definido el tiempo recomendable para el curado. Comúnmente se practica en la producción comercial de composta un lapso de tiempo que varía entre uno y cuatro meses (Rynk *et al.*, 1992). No obstante, las pilas de composta pueden curarse hasta por seis o doce meses Fig. 2 (Cooperband, 2001).

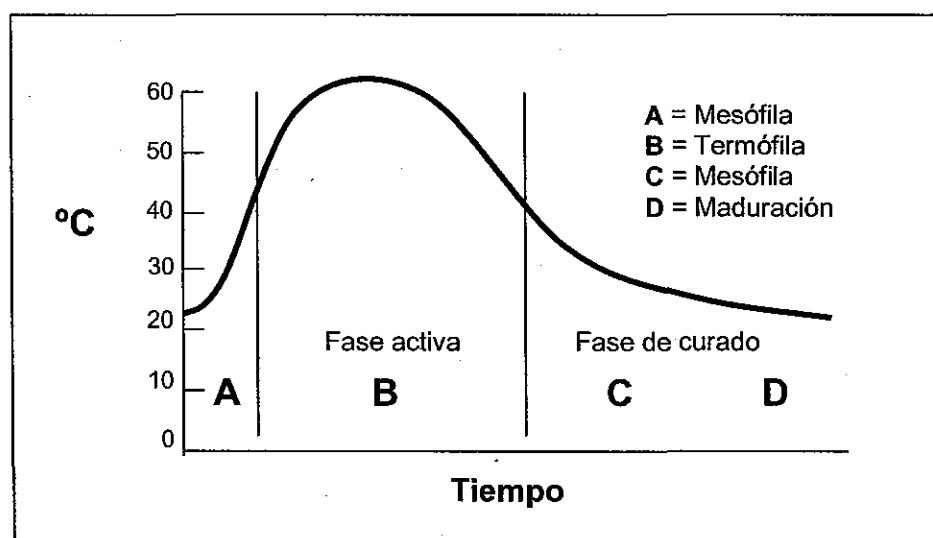


Figura 2. Cambios de temperatura en una pila de composta promedio (Cooperband, 2002).

Lo anterior coincide con lo que dice Gottschall (1992), en el sentido de que conforme la composta madura, se va incrementando la concentración de ácidos húmicos estables. En el suelo, éstos se fijan frecuentemente a las partículas arcillosas, incrementando así el efecto benéfico sobre la estructura del mismo.

Para que lo anterior pueda ocurrir, las compostas deben de tener al menos un año de edad. Sin embargo, es importante hacer notar, que el curado no es sólo cuestión de tiempo, sino también depende de que las condiciones sean favorables para que el proceso pueda finalizar (EPA, 1994).

Por otra parte, los resultados obtenidos por Wolkowski (1993), confirman también que una composta de RSM, con un largo período de compostaje (nueve meses), incrementó el rendimiento de maíz, comparado con compostas de 7 y 36 días. Resultados similares obtuvieron Kolota y Biesiada (1999), en Polonia al utilizar composta de RSM de nueve meses, contra otra de 1.3 meses, en el rendimiento de lechuga con dosis entre 100 a 400 ton/ha.

Según el Colegio Escocés de Agricultura (Scottish Agricultural Collage, 2001), el grado de madurez y la estabilidad de la composta, son dos criterios de los cuales depende el impacto del material en el suelo y en las plantas, por lo que se podrían definir las características del modo siguiente:

➤ **MADUREZ:**

En este estado la composta contiene cantidades mínimas de organismos causantes de enfermedades, no tiene malos olores ni sustancias tóxicas solubles, y contiene una relación C:N menor de 20:1 pero mayor de 13:1, por lo que libera nutrimentos lentamente en el suelo. La EPA (1994), por su parte, lo define como el resultado del proceso de curado que llegó a la estabilidad; se caracteriza por ser un material rico en nutrimentos asimilables por las plantas, pobre en ácidos fitotóxicos y fenoles, y bajo contenido en compuestos de carbono fácilmente disponibles.

➤ **ESTABILIDAD:**

Básicamente, es una medida de la capacidad de la composta para resistir los cambios físicos y químicos al término del proceso. Esto es, el proceso de compostaje puede haber terminado, pero no significa, en todos los casos, que ese material sea estable. Por ejemplo, si el proceso se detiene por falta de humedad, y si se humecta de nuevo, se calienta otra vez. Igualmente puede generar olores de amoníaco y alterar su volumen si el proceso se restablece. La EPA (1994), lo define así: Estado o condición en la cual, el material compostado puede ser almacenado sin causar problemas, pues sólo quedan compuestos resistentes a la descomposición biológica.

Aunado a lo anterior, es también importante tomar en consideración la afirmación de Dunst (1997): "Entre más nueva sea la composta, mayor es su efecto

fertilizante, y mientras más vieja sea, mejor es su efecto como humus (constructor de la estructura del suelo), y es mejor aún si se utiliza como sustrato para viveros”.

2.2.4 Requerimientos básicos para el compostaje

Las condiciones para la eficiente descomposición biológica de los residuos depende de la temperatura (50 - 65 °C), la humedad (45 – 56%), oxígeno (15 – 21%), pH (6.0–7.5) y la adecuada relación C:N (25:1–30:1) de la mezcla de materiales compostables. Cuando los microorganismos degradan los residuos orgánicos con niveles óptimos de oxígeno, se dice que es un proceso aeróbico y se distingue del anaeróbico en cuanto a que es más rápido y no genera muchos malos olores -amoníaco y ácidos orgánicos- (Mamo *et al*, 2002).

2.2.5 Características de la composta madura

No todas las compostas son iguales. La calidad de la composta terminada depende de varios factores: Características de la materia prima utilizada, tipo de control de procesos, estado de la actividad biológica, y lo más importante, el destino final del producto, es decir, la composta puede ser usada como acolchado orgánico, abono orgánico, sustrato para vivero o mejorador de suelos (Cooperband, 2001).

Si se pretende utilizar como mejorador de suelos, el propósito debe ser entonces que la composta sirva como medio para mejorar la fertilidad a través de la estructura del suelo. Los parámetros usuales de la composta de residuos vegetales y de RSM madura pueden apreciarse en los **Cuadros 1 y 2**.

Cuadro 1. Tamaño de partículas de composta y usos

Tamaño mm	Aplicación
40	Tamaño máximo para mejoramiento de suelos agrícolas y pastizales.
25	Tamaño máximo para hortalizas
25	Tamaño máximo para aplicación sobre el cajete de frutales
15	Tamaño máximo para almácigos (finos)

Waste & Resources Action Program, United Kingdom (2004)

Cuadro 2. Estándares de compostas maduras

Índices	Composta de residuos vegetales	Composta de RSM y biosólidos
Materia orgánica %	25 - 40	24 - 80
Nitrógeno* total	0.6 - 8.0	0.4 - 3.5
C:N	13 - 17	10 - 15
pH	7.0 - 8.0	8.0 - 8.5
Fósforo*	0.1 - 1.2	0.2 - 1.8
Potasio*	0.5 - 1.4	0.3 - 2.5
Calcio*	0.5 - 1.1	2.4 - 6.5
Magnesio* total	0.2 - 0.25	1.5 - 3.0
Conductividad mS/M	0.8 - 1.8	2.2 - 3.0
Materia seca %	55 - 65	60 - 70
Humedad %	35 - 55	35 - 55

Scottish Agricultural College (2001)

* % sobre peso seco

2.2.6 Degradación de la composta en el suelo

► Transformación de la materia orgánica (MO) fresca en el suelo

Para Kononova (1982), la MO, al incorporarse al suelo, se somete a procesos multiformes de transformación. En dichos procesos, una parte de los componentes que la integran se mineralizan hasta formar ácido carbónico, agua, amoníaco y otros productos, mientras que otra parte se transforma en compuestos orgánicos relativamente simples: Ácidos orgánicos de bajo peso molecular, aminoácidos y otros. Al mismo tiempo, la desintegración del material de origen va acompañada de la neoformación de sustancias húmicas, siendo relativamente resistentes a la acción de los microorganismos. Dichas sustancias representan una de las formas de acumulación de la materia orgánica en la Tierra.

La intensidad más alta del proceso de descomposición de la MO se observa a valores medios de temperatura, cercanos a 30 °C, y una humedad del suelo próxima a 60 - 80% de la capacidad hídrica total. Con el aumento de temperatura hasta 35 °C, la intensidad del proceso decrece, pero con el crecimiento sucesivo se observa su depresión.

A temperaturas por encima de 50 °C se observa de nuevo el desprendimiento intenso de CO₂ debido, sin embargo, no a procesos biológicos, sino a la desintegración química de sustancias orgánicas, que en condiciones naturales probablemente sucede sólo en capas superficiales húmedas de clima cálido (Kononova, 1982).

Para Sánchez (1981), la tasa anual de descomposición del carbono orgánico del suelo aumenta conforme se incrementa la temperatura, la humedad, la aireación y la labranza. Con el cultivo disminuye la adición de carbono orgánico, y por lo menos se duplica la tasa de descomposición.

En este mismo sentido, Fassbender y Bornemisza (1994), coinciden con los autores antes citados, en que los factores ecológicos –temperatura y precipitación pluvial- influyen tanto sobre la producción de restos vegetales y animales que se incorporan al suelo, como sobre su velocidad de mineralización. Este proceso inicia a 10 °C y aumenta hasta alcanzar su máximo entre 30 y 40 °C. Esto ocurre en muchas zonas tropicales, lo que causa problemas graves en su fertilidad, y es que precisamente la velocidad de descomposición de la MO se duplica por cada 10 °C, en el rango de 13 a 35 °C (Wolf y Snyder, 2003).

► Transformación de la composta en el suelo

Dado que la composta contiene cantidades apreciables de MO (25 y 80%), como puede verse en el **Cuadro 2**, ésta se somete a los procesos de degradación en el suelo antes descritos. Así lo confirman Dalzell *et al.* (1991), quienes refieren que la rápida descomposición de la MO de la composta bajo condiciones tropicales, significa que los suelos en dichos ambientes necesitan aportes regulares de este producto, si es posible anualmente, de manera de que pueda mantenerse la fertilidad del suelo.

Mientras tanto, Dick y McCoy (1992), mencionan que en condiciones tropicales, la elevada radiación solar y altas temperaturas eventualmente conducen a la completa desaparición de la composta, dejando atrás sólo a los nutrientes minerales. En regiones templadas, la reacción a la mineralización es más mucho más lenta y las aportaciones de MO generalmente se estabilizan como humus en el suelo.

En vista de lo anterior, la planeación de la nutrición vegetal requiere entonces, considerar la capacidad de las compostas para abastecer de nutrimentos a los cultivos, en particular de nitrógeno. Por ejemplo, Mamo *et al.* (1998), consignan que la disponibilidad del nitrógeno de una composta de RSM, en el mismo año de aplicación, fue de alrededor del 10%. No obstante, la tasa de mineralización de composta de RSM en estudios de incubación en suelos puede variar significativamente, desde casi nada (Sánchez *et al.*, 1997) hasta el 22% (Hadas y Portnoy, 1997).

Es por esta razón que a veces se recomienda la aplicación de grandes cantidades de composta de RSM para cubrir satisfactoriamente las necesidades de nitrógeno de los cultivos, comparando los rendimientos que se logran con los fertilizantes minerales (Mays *et al.*, 1973; Mamo *et al.*, 1998).

2.3 Riesgos ambientales por el uso de composta de RSM

2.3.1 Metales pesados

► Origen de los metales y concentración

A ciertas concentraciones, los metales pesados se convierten en contaminantes potenciales del ambiente, y por lo tanto, requieren de una atención especial cuando se manejan materias primas y compostas que puedan contenerlos.

Los metales que se encuentran en los RSM no separados, se originan de una gran variedad de productos, por ejemplo: Baterías, artículos electrónicos, cerámica, focos, pinturas, laminillas metálicas de tapones de botellas, aceites, plásticos, y algunas tintas y vidrios, también pueden contenerlos. El B, Zn, Cu y Ni en exceso pueden dañar a las plantas, en tanto que el As, Cd, Pb y Hg son potencialmente dañinos a todos los organismos que se alimenten de plantas o suelos que los contengan. Sin embargo, algunos estudios sugieren que el As, Cr, Cu, Ni y Zn en general, no se encuentran en altas concentraciones en la composta de RSM, ni tampoco son fácilmente asimilables por las plantas (Woodbury, 1993).

► Reacción en el suelo

Para Wolf y Snyder (2003), el Cd, Cr, Co, Ni y Pb pueden estar presentes en la composta de RSM en cantidades suficientes para causar problemas en los cultivos o hacer que las cosechas no puedan ser consumidas por los humanos; por lo contrario, algunos estudios sugieren que el As, Cr, Cu, Ni y Zn no representan un gran riesgo a las plantas, animales y a la salud humana, básicamente porque por lo común se encuentran en bajas concentraciones en la composta de RSM y/o no las plantas no los asimilan fácilmente (Woodbury, 1993).

Varios autores coinciden que en realidad es la forma química del metal, más que su presencia, lo que es importante en la determinación de la calidad de la composta, porque la forma química determina la disponibilidad para ser asimilado por las plantas o su grado de lixiviación (Stoffela y Kahn, 2001). Los microorganismos del suelo y/o la materia orgánica tienen la capacidad de formar quelatos o fijar metales en complejos orgánicos; así mismo, las cantidades apreciables de calcio contenido en la composta, así como el incremento del pH que provoca en el suelo, también actúan para inactivar la viabilidad de esos metales para las plantas (Dick y McCoy, 1992).

► Beneficios potenciales de los metales pesados en compostas de RSM

A pesar de los riesgos, el uso de este tipo de compostas en la agricultura tiene la ventaja de ayudar a mitigar la deficiencia de micronutrientes en suelos cultivados intensivamente durante años, así como amortiguar el daño de los metales a las plantas al fijarlos químicamente en el humus que ella misma contiene; sin menoscabar los beneficios intrínsecos de las compostas en el suelo (Woodbury, 1993).

► Estándares de metales pesados contenidos en compostas

En México, los límites de metales pesados en las compostas y biosólidos (lodos residuales) deben ajustarse a lo establecido en el Proyecto de Norma Oficial Mexicana Proy-Nom-004-Ecol-2001, Protección Ambiental.- Lodos y biosólidos, que opera a través de la SEMARNAT.

2.3.2 Patógenos y parásitos

De acuerdo con lo establecido por el Thompson (2002), la composta derivada de desechos humanos y animales puede contener organismos patógenos. Si la composta está inmadura, o si las condiciones termofílicas no se lograron alcanzar a plenitud, entonces algunos patógenos podrían sobrevivir. Por tanto, la presencia de éstos en la composta que se ofrece a los consumidores debe ser verificada de acuerdo a los límites y estándares regulatorios.

En México, los límites de patógenos y parásitos en compostas y biosólidos (lodos residuales) deben ajustarse a lo establecido en el Proyecto de Norma Oficial Mexicana citada arriba. Los organismos que se regulan básicamente son tres: Coliformes fecales, *Salmonella sp* y huevos de helminto.

2.4 Efectos de la composta de RSM en el suelo

2.4.1 Efectos en las propiedades físicas

Se han evidenciado los efectos de la composta de RSM en las propiedades físicas del suelo de acuerdo a varios parámetros. Por ejemplo, se ha visto que se mejora la conductividad hidráulica y la disponibilidad de agua para los cultivos agrícolas (Aggelides y Londra, 2000; Mamo *et al.*, 2000). El grado de mejoramiento del suelo se encontró directamente proporcional a la dosis de composta aplicada, la

cual varió de 75 a 300 m³/ha en una zona de clima semiárido (Aggelides y Londra, 2000).

Además se mejora la estructura del suelo (Albiach *et al.*, 2001; Bresson *et al.*, 2001) en términos de densidad aparente, porosidad, distribución de poros, agregación y estabilidad de agregados (Aggelides y Londra, 2000).

Las anteriores características inducen por tanto la reducción de la erodabilidad del suelo (Albiach *et al.*, 2001; Bresson *et al.*, 2001) y la significativa disminución de la compactación del suelo (Aggelides y Londra, 2000; Khalilian *et al.*, 2002). Sin embargo, de acuerdo a González y Cooperband (2002), los efectos de la composta en las propiedades físicas pueden diferir según el tipo de compostas.

Un efecto notable que fue observado por Khalilian *et al.* (2002), fue precisamente la reducción del grado de compactación del suelo y la disminución de la densidad aparente.

2.4.2 Efectos en las propiedades químicas

En la literatura especializada se encuentran varias referencias que confirman los efectos benéficos de la composta de RSM en las propiedades químicas de los suelos. Por ejemplo, se ha observado que incrementa el contenido de MO en tan sólo 6-12 semanas y la concentración de NPK en el suelo (Khalilian *et al.*, 2002). Así mismo, Ağca *et al.* (2001), sostienen que se obtiene un incremento de la MO y del pH en el suelo. Por su parte, Maynard (1995), en un experimento con jitomate, encontró que la adición de 112 t/ha de composta de RSM, previamente separados, por tres años incrementó el pH del suelo de 5.4 a 6.2, y que la MO aumentó 38%.

Así mismo, existen evidencias sobre el incremento entre 0.5 a 1 unidades de pH en suelos ácidos, sobre todo con dosis entre 22 a 44 t/ha de composta de RSM (Herando *et al.*, 1989; McConnell *et al.*, 1993) y también el incremento de casi 10% en la CIC con aplicaciones de 33.6 t/ha de composta de RSM (Hortensine & Rothwell, 1973).

2.5 Uso de la composta de RSM en la producción agrícola

2.5.1 Formas de aplicación en el terreno

► ¿Aplicación superficial o incorporación con rastra?

Con frecuencia se plantean controversias sobre la manera más conveniente de aplicar la composta en los terrenos agrícolas. Sin embargo, un hecho comprobado lo expusieron Khalilian *et al.* (2002), quienes encontraron en el cultivo de algodón, que con tres niveles de aplicación de composta de RSM: 11, 22 y 33 t/ha, además de fertilizante y herbicida, fue posible determinar que la aplicación de composta al voleo e incorporada con arado resultó más efectiva que la aplicada en banda sobre la superficie del suelo y sin incorporar.

Para Dunst (1997), la composta debe aplicarse siempre en la parte superficial del suelo. La mejor manera es incorporarlo con arado y tan sólo a unos pocos centímetros de profundidad, en donde existe suficiente oxígeno para que las bacterias y hongos puedan seguir "trabajando" en el suelo.

► Uso combinado con fertilizantes

Técnicos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos reportan que existe un efecto sinérgico en el uso combinado de composta con fertilizantes, con lo cual resulta una reducción de al menos 15 al 20% en el uso de fertilizantes (EPA, 1998). En cambio, Garland *et al.*, (1995), consigna que el uso de composta permite reducir el requerimiento de fertilizante hasta alrededor del 50%.

Shiralipour *et al.* (1992), señala que, en la mayoría de los casos, el incremento del rendimiento es mayor cuando la aplicación de composta se combina con los fertilizantes.

2.5.2 Aplicación en el cultivo del maíz

Las ventajas de la aplicación de composta de RSM en el cultivo de maíz han sido documentadas por varios autores. Tal es el caso de Díaz *et al.* (1993), quienes sugirieron que una dosis aceptable de composta de RSM puede variar entre 11 a 22 t/ha al año, o entre 22 a 33 t/ha por cada dos o tres años.

Por su parte, Martínez Meza (1975), en un trabajo experimental realizado en Zapopan, encontró una gran variabilidad en los resultados, e incluso algunas inconsistencias, como por ejemplo, la de obtener 5.07 toneladas de grano/ha con una dosis de composta de 10 t/ha, mientras que con 20 t/ha sólo se obtuvieron 3.95 t/ha. Él concluye varios aspectos: 1) Una dosis alta no respondió a plenitud en el transcurso del cultivo inmediato, 2) Altas cantidades de composta (20 t/ha) más fertilizante no influyeron notoriamente en el rendimiento de grano y 3) Los más altos rendimientos fueron 10 t/ha de composta más la fórmula 80-30-00 (5.11 ton/ha de grano), así como 10 t/ha de composta sin fertilizante (5.07 t/ha de grano), y 10 t/ha de composta más la fórmula 120-40-00 (4.99 t/ha de grano),

haciendo la aclaración que estadísticamente estos tratamientos fueron iguales entre sí.

Mamo *et al.* (1999), observaron la mejor respuesta en un experimento de tres años con maíz, al aplicar la dosis de 90 t/ha/año de composta de RSM y la mitad de la dosis de fertilizante (125 kg/ha), que fue suficiente para optimizar el rendimiento de grano, sin el riesgo de lixiviación de nitratos.

III. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

3.1 Objetivos

1. Determinar las características físicas, químicas y biológicas (organismos patógenos y parásitos) de una composta de RSM que está a disposición para su uso agrícola en la región de estudio.
2. Analizar los efectos de la aplicación de tres dosis de composta de RSM en algunas propiedades físicas y químicas del suelo agrícola.
3. Comparar dos procedimientos de aplicación de la composta de RSM en el cultivo de maíz.
4. Comparar los efectos de la aplicación de composta de RSM y fertilizantes químicos en el rendimiento del maíz.

3.2 Hipótesis

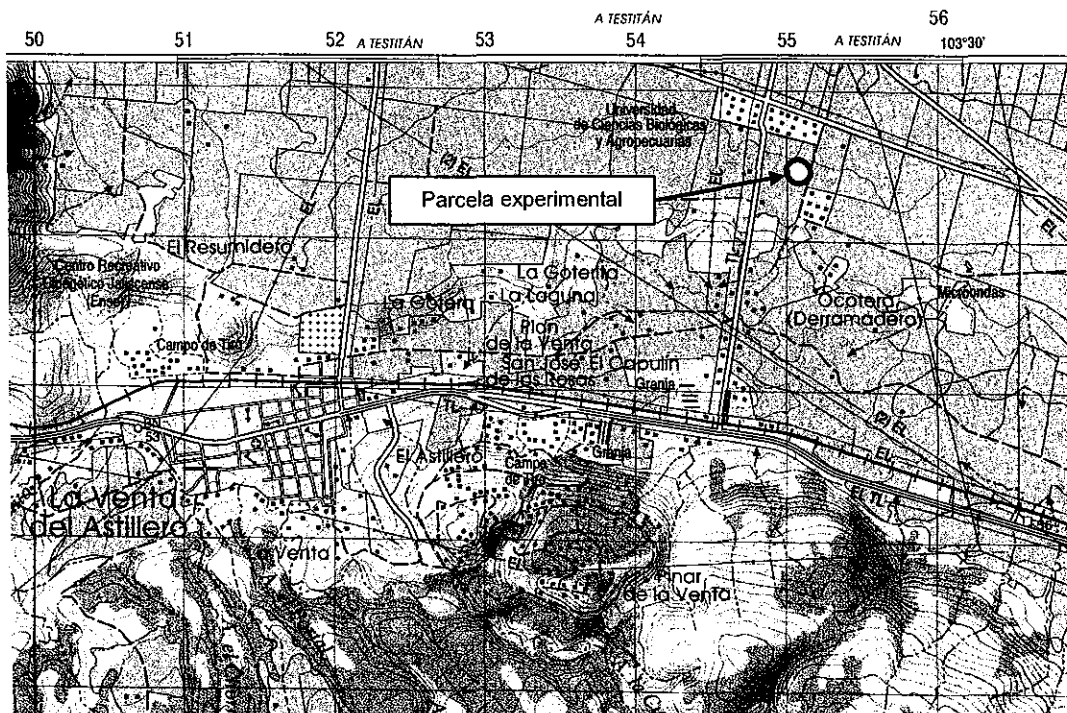
1. La adición de composta de RSM produce cambios favorables en las propiedades físicas y químicas del suelo.
2. Los efectos en el rendimiento y en los cambios de las propiedades de los suelos, varían de acuerdo a la forma de aplicación de la composta de RSM.
3. La aplicación de composta de RSM permite la reducción en el uso de fertilizantes.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Localización del experimento.

La investigación se llevó a cabo en el campo experimental del Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CUCBA) de la Universidad de Guadalajara, localizado en Las Agujas, Municipio de Zapopan, Jalisco, siendo sus coordenadas geográficas: 20° 44' de Latitud Norte, 103° 30' de Longitud Oeste y una altitud de 1670 msnm (Figura 3).

**Figura 3. Localización del sitio experimental:
Carta INEGI F13-D35 Guadalajara Oeste (2003)**



4.2 Condiciones ambientales

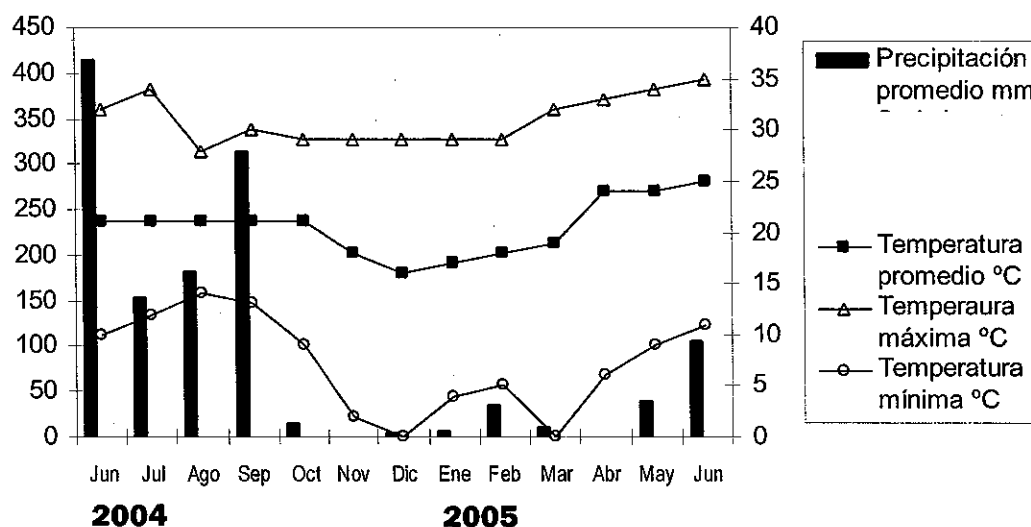
4.2.1 Clima

La región en donde se localiza la parcela experimental tiene una temperatura media anual de 19.6 °C; la temperatura mínima media de 12.3 °C; la temperatura máxima media de 26.8 °C y presenta una precipitación media anual de 979.6 mm.

La evaporación anual es de 2193.8 mm y la humedad relativa media anual del 60.6%, y corresponde a la siguiente clasificación climática según Köppen, modificada por Enriqueta García: (A)Ca(w₁)(w)(i')g quedando descrito como semicálido templado con verano cálido, lluvias en verano intermedias con poca oscilación térmica (Ruiz *et al.*, 2003).

Los parámetros de temperatura y precipitación durante el período de evaluación, el cual comprendió entre junio del 2004 a junio del 2005 (Base Aérea Militar N° 5, 2006), se aprecian en la **Figura 4**.

Figura 4. Variación de temperatura y precipitación pluvial durante el período de prueba



4.2.2 Geología

La zona en donde se localiza la parcela experimental se ubica dentro de la provincia fisiográfica conocida como Eje Transversal Neovolcánico, la cual comprende un sistema de sierras que atraviesan la región centro del país, desde la costa del Pacífico: Estados de Colima, Jalisco y Nayarit, hasta las costas del Estado de Veracruz. Esta región forma parte de la subprovincia Guadalajara y se caracteriza por una fuerte influencia volcánica que ha determinado la configuración de su superficie, así como la naturaleza de los suelos existentes. Las rocas predominantes son ígneas extrusivas del tipo de la riolita, la obsidiana y pómez, sin afloramientos rocosos en el área del estudio (SPP, 1981).

La estructura más joven del Eje Transversal Neovolcánico es una caldera conocida como Sierra La Primavera, localizada al oeste de Guadalajara (Alatorre *et al.*, 1992), y a 2.5 km al sur del CUCBA. Después de su primera erupción, hace aproximadamente 95 mil años, sucedieron una serie de erupciones explosivas que

dieron lugar a flujos piroclásticos (riolíticos y pómez) que cubrieron el área estimada de 700 km² (Mahood, 1980).

4.2.3 Suelos

De acuerdo con el Sistema de Clasificación de Suelos de la FAO (ahora: World Reference Base for Soil Resources [WRB]) en la zona domina el *regosol éutrico*. (INEGI, 1975). Según la FAO (1986), los regosoles son suelos que provienen de materiales no consolidados, de textura gruesa en todo el perfil. Dos subgrupos son comunes en el área del estudio: regosoles éutricos y dístricos. Ambos se diferencian en que los éutricos tienen una saturación de bases >50% entre los 20 a 50 cm a partir de la superficie, mientras los dístricos la saturación de bases es <50%. Otras características de los regosoles son su fertilidad media y su origen residual descansando sobre rocas ígneas (SPP, 1981).

Los regosoles cubren el 92% del área del Bosque La Primavera y regiones circunvecinas, siendo derivados del intemperismo de toba, pómez riolita, mientras que el 8% restante es resultado de procesos erosivos y pertenecen a la categoría de los litosoles (Universidad de Guadalajara, 1994).

► Características químicas de los suelos de la parcela experimental

En el **Cuadro 3** se presentan los resultados correspondientes a las características químicas del suelo. Los análisis fueron realizados en el Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ).

Cuadro 3. Resultados del análisis químico inicial del suelo

Determinación	Método	Promedios
pH	Potenciométrico	5.4
CIC (meq/100g)	Acetato de amonio	3.1
MO %	Walkley & Black	1.8
Corg	Calculado ¹	1.0
Ntotal	Calculado ²	0.1
C:N	Calculado ³	11.6
P ppm	Bray 1	161.8
K ppm	Mehlich III	234.3
S ppm	Mehlich III	49.9
Ca ppm	Mehlich III	568.0
Mg ppm	Mehlich III	25.4

1) M.O./1.724; 2) Corg/11.6; 3) Corg/N

Los resultados anteriores muestran que un **pH** ácido (5.0-5.5) con un contenido pobre (1-2%) de materia orgánica (**MO**); éstas son dos características muy comunes de los suelos tropicales que resultan de un manejo inapropiado de la fertilidad del suelo que limita su sustentabilidad (Fassbender, 1975; Ortiz y Ortiz, 1990). El valor de capacidad de intercambio catiónico (**CIC**) es muy bajo (0-5); El nitrógeno total (**N_t**) fue muy pobre, mientras que el carbono orgánico (**C_{org}**) estuvo entre muy pobre (0 – 1.0) a pobre (1.0 1.5); la relación **C:N** se encontró en término medio (entre 9 a 12) y el **fósforo** tuvo un nivel regular (90-185). En vista de lo anterior, se puede deducir que el estado de fertilidad de esos suelos fue bajo (Daniels y Miramontes, 1992).

► Características físicas de los suelos de la parcela experimental

Los análisis de textura del Laboratorio de Suelos del CUCBA dieron como resultado que el suelo es franco arenoso. La densidad aparente se obtuvo por el método del cilindro de Blake y Harte, a dos profundidades: 10 cm (promedio = 1.11 g/cc) y a 30 cm (1.3 a 1.5 g/cc). Los valores resultantes fueron más bajos de lo normal para el tipo de textura (Navarro, 1994), posiblemente debido a los efectos remanentes de la labranza.

4.2.4 Topografía

El campo experimental del CUCBA en Las Agujas, Zapopan, es predominantemente plano; se encuentra a una altitud de 1670 msnm y domina una pendiente menor al 3%.

4.3 Descripción de la composta de RSM

La composta utilizada tenía un color café oscuro, con textura muy fina (polvosa) y con muy pocos inertes (plásticos, vidrio y metal). De acuerdo a la empresa Caabsa Eagle, el material se sometió a un proceso de compostaje de 75 días, y fue entregada encostalada.

4.4 Características del maíz utilizado

Se empleó maíz híbrido LUCERO 901 del Centro de Investigación y Producción de Semillas (CIPROS) del CUCBA de la Universidad de Guadalajara. Este material es

de ciclo intermedio, con 70 – 75 días a la floración y 135 – 140 días a la cosecha y tolerante a la sequía. Produce en promedio 6 a 7 t/ha, dependiendo de las condiciones ambientales y manejo del cultivo.

4.5 Desarrollo del experimento

4.5.1 Equipo y materiales

► Equipo y materiales para el establecimiento del experimento

En la fase de instalación del experimento se requirieron los siguientes materiales: Cinta métrica de 30 metros, cal y estacas para el marcaje de las unidades experimentales.

► Equipo y materiales para el muestreo de suelos

La toma de muestras de suelo para los análisis de laboratorio se hizo con barrena tipo "California" y pala. Para la determinación de la densidad aparente, se empleó una pocera, martillo y un cilindro de cobre (3.65 cm de largo y 2.075 cm de diámetro), navaja de campo y frascos de vidrio de 50 ml de capacidad. Finalmente, se utilizó un penetrómetro marca Dickey-john para medir el grado de compactación de suelo.

► Equipo y materiales para la cosecha del maíz

Para la evaluación de rendimiento del grano y la biomasa (peso seco) de maíz, se utilizó una báscula de reloj portátil, tijeras, arpillas para las mazorcas, bolsas de plástico para el grano, una desgranadora y una balanza electrónica.

4.5.2 Diseño experimental

El diseño experimental que se empleó, de acuerdo a los objetivos e hipótesis planteadas, fue el de bloques completos al azar. Se establecieron cuatro experimentos en el mismo número de ambientes. Éstos se generaron con base a la forma de aplicación de la composta y la adición de fertilizante químico; se muestran en el **Cuadro 4**.

Cuadro 4. Descripción de las condiciones de los experimentos

Experimento Nº	Ambientes
1	Aplicación de composta en banda sin incorporar al suelo y con el 50% de fertilizante
2	Aplicación de composta en banda sin incorporar al suelo y sin fertilizante
3	Aplicación de composta al voleo incorporada al suelo y con el 50% de fertilizante
4	Aplicación de composta al voleo incorporada al suelo y con el 50% de fertilizante

Los tratamientos evaluados en cada experimento se describen en los **Cuadros 5,6,7 y 8.**

Cuadro 5. EXPERIMENTO 1: Tratamientos con aplicación de composta en banda sin incorporar al suelo y 50% de fertilizante

CLAVE DE LOS TRATAMIENTOS	DESCRIPCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS	FÓRMULA	FERTILIZACIÓN NITROGENADA		FERTILIZACIÓN FOSFATADA
			1ª Aplicación	2ª Aplicación	Al momento de la siembra
T1	Sólo fertilizante	180-90-00*	90	90	45
T0	Sin fertilizante y sin composta	00-00-00	0	0	0
T10	10 ton/ha de composta	90-45-00	45	45	45
T20	20 ton/ha de composta	90-45-00	45	45	45
T30	30 ton/ha de composta	90-45-00	45	45	45

Nota: Fórmula recomendada para la región*

Cuadro 6. EXPERIMENTO 2: Tratamientos con aplicación de composta en banda sin incorporar al suelo y sin fertilizante

CLAVE DE LOS TRATAMIENTOS	DESCRIPCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS	FÓRMULA	FERTILIZACIÓN NITROGENADA		FERTILIZACIÓN FOSFATADA
			1ª Aplicación	2ª Aplicación	Al momento de la siembra
T1	Sólo fertilizante	180-90-00*	90	90	45
T0	Sin fertilizante y sin composta	00-00-00	0	0	0
T10	10 ton/ha de composta	00-00-00	0	0	0
T20	20 ton/ha de composta	00-00-00	0	0	0
T30	30 ton/ha de composta	00-00-00	0	0	0

Nota: Fórmula recomendada para la región*

Cuadro 7. Experimento 3: Tratamientos con aplicación de composta al voleo incorporada al suelo y 50% de fertilizante

CLAVE DE LOS TRATAMIENTOS	DESCRIPCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS	FÓRMULA	FERTILIZACIÓN NITROGENADA		FERTILIZACIÓN FOSFATADA
			1ª Aplicación	2ª Aplicación	Al momento de la siembra
T1	Sólo fertilizante	180-90-00*	90	90	45
T0	Sin fertilizante y sin composta	00-00-00	0	0	0
T10	10 ton/ha de composta	90-45-00	45	45	45
T20	20 ton/ha de composta	90-45-00	45	45	45
T30	30 ton/ha de composta	90-45-00	45	45	45

Nota: Fórmula recomendada para la región*

Cuadro 8. Experimento 4: Tratamientos con aplicación de composta al voleo incorporada al suelo y sin fertilizante

CLAVE DE LOS TRATAMIENTOS	DESCRIPCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS	FÓRMULA	FERTILIZACIÓN NITROGENADA		FERTILIZACIÓN FOSFATADA
			1ª Aplicación	2ª Aplicación	Al momento de la siembra
T1	Sólo fertilizante	180-90-00*	90	90	45
T0	Sin fertilizante y sin composta	00-00-00	0	0	0
T10	10 ton/ha de composta	00-00-00	0	0	0
T20	20 ton/ha de composta	00-00-00	0	0	0
T30	30 ton/ha de composta	00-00-00	0	0	0

Nota: Fórmula recomendada para la región*

En cada experimento se ensayaron cinco tratamientos con cuatro repeticiones, formando en conjunto 20 unidades experimentales de 24 m² cada una (5.00 x 4.80 m de parcela total); de esta forma el experimento ocupó una superficie de 480 m².

► Parcela útil

Para el muestreo de suelos, se consideró el centro de la misma como parcela útil; para la evaluación del crecimiento del maíz, se cosecharon seis metros de hileras de plantas con competencia normal.

► Variables de estudio

Las variables dependientes que se evaluaron se muestran en el **Cuadro 9**.

Cuadro 9. Variables de estudio

VARIABLES		
Suelo		Maíz
Químicas	Físicas	
MO, pH, CIC, N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn, Na, Zn, B	Densidad aparente Compactación	Grano Biomasa

4.5.3 Establecimiento y conducción del experimento

► Preparación del terreno

El terreno se rastreó de manera cruzada a mediados de junio del 2004. Posteriormente se delimitó el área de los experimentos 3 (composta al voleo e incorporada con fertilizante) y 4 (composta al voleo e incorporada sin fertilizante), se marcaron las unidades experimentales y se aplicaron las dosis de composta en ambos. Posteriormente se le dio un paso de rastra para incorporar el material aproximadamente en los primeros 15 cm de profundidad (**Figura 5 y 6**).

► Siembra

La siembra se realizó el día 2 de julio del 2004 con el temporal de lluvias establecido. Se usó una densidad de 80 mil plantas/ha y se aplicaron de inmediato los herbicidas Faena y Primagram Gold. Para mantener el cultivo sin problemas de plagas se utilizaron productos a base de cipermetrinas en diferentes etapas del cultivo.

► Manejo del experimento durante el ciclo vegetativo

Diez días después de la siembra, con las plantas emergidas, se aplicó la primera fertilización en los tratamientos programados. Se aprovechó entonces para aplicar la composta en los tratamientos de los experimentos 1 (composta en banda, no incorporada y con fertilizante) y 2 (composta en banda, no incorporada y con fertilizante). Esto se realizó a chorrillo, a 10 cm de la hilera de plantas y junto con la primera fertilización.

La primera fertilización consistió en agregar 50% del nitrógeno con urea y DAP (18-46-00) y todo el fósforo (DAP). La segunda aplicación del nitrógeno se llevó a cabo usando urea, hasta la aparición de la quinta hoja de maíz.

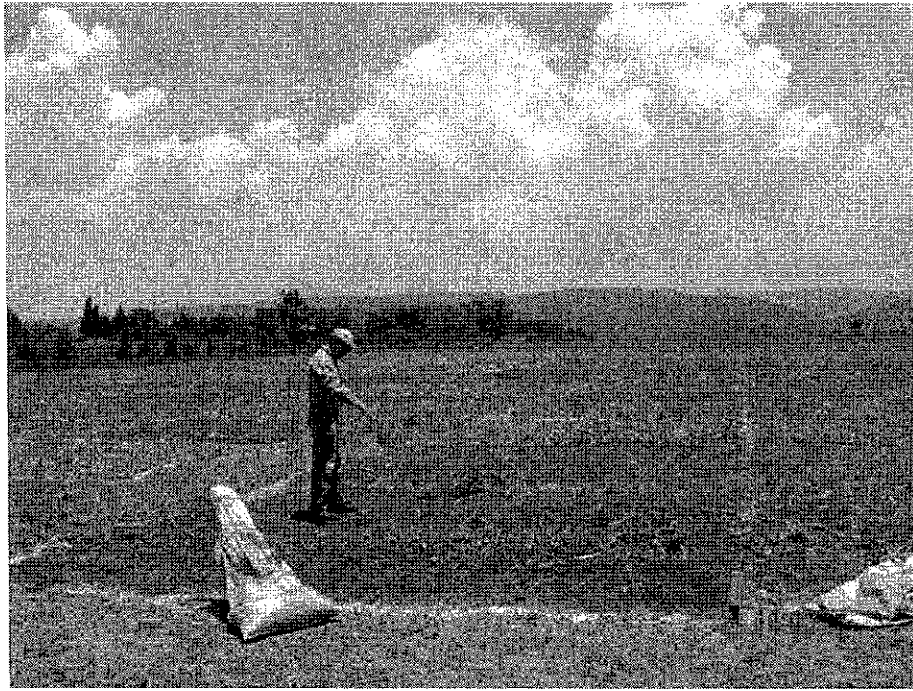


Figura 5. Aplicación de la composta al voleo en se sitio experimental



Figura 6. Incorporación de la composta con la rastra

La dosis de aplicación fue la fórmula 180-90-00 recomendada por INIFAP para la región, la cual únicamente se aplicó completa al testigo 1 (normal). En el resto de los tratamientos con fertilización sólo se aplicó el 50% de la fórmula recomendada para probar el efecto sinérgico de la composta.

► Cosecha

El maíz se cosechó en enero de 2005. En los casos en que la densidad de población no fue uniforme, se aplicó el criterio de seleccionar y medir al menos seis metros de hileras completas, es decir, plantas con competencia normal a ambos lados del tramo de la hilera. Enseguida, se cosecharon las plantas, junto con las mazorcas, hasta el nivel del suelo y se pesaron. Posteriormente se separaron las mazorcas, se desgranaron y pesaron para evaluar el rendimiento del grano.

El rendimiento por unidad experimental de grano y biomasa se calculó de acuerdo a la superficie cosechada, y se convirtió el valor a toneladas por hectárea. El peso del grano se evaluó con humedad comercial (14%) y el follaje estando completamente seco en la parcela.

4.6 Caracterización de composta de RSM y suelos

4.6.1 Muestreo de la composta de RSM

La empresa Caabsa Eagle, S.A. proporcionó 60 costales de composta de 50 kg cada uno para la ejecución del experimento. En vista de ello, se tomaron al azar dos muestras de 1 kg de composta de dos costales, de acuerdo a los criterios de la Norma Oficial de Muestreo para Materiales pulverulentos o granulados NOM K-368-1972 (Secretaría de Industria y Comercio, 1972). Una parte de las muestras fueron analizadas en el CIATEJ y la otra en el Laboratorios de Suelos y el de Bromatología del CUCBA.

4.6.2 Análisis químicos, físicos y de patógenos de la composta

La composta de RSM fue sometida a varios análisis. Los análisis químicos y las técnicas empleadas se resumen en el **Cuadro 10**.

Cuadro 10. Análisis químicos y físicos de la composta y sus técnicas de determinación.

ANÁLISIS QUÍMICOS DE COMPOSTA	
Determinación	Técnica
pH	Potenciómetro en agua desionizada 1:5
MO	Walkey-Black
Carbono orgánico	Walkey-Black
Nitrógeno total	Khjeldahl
C/N	Calculado
Ca	Método de ceniza seca
P	Fotométrico
K	Flamometría
CE	Conductímetro
Humedad	Gravimétrico
Tamaño de partículas	Granulométrico : Tamices malla 16,18,40,60 y 100

Los metales Zn, Pb, Cd, Hg, Ni y Cr se analizaron mediante la técnica de absorción atómica. Por otra parte, los análisis para determinar patógenos se aplicaron de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-004-ECOL-2001. Lodos y biosólidos; se enlistan en el **Cuadro 11**.

Cuadro 11. Técnicas para la determinación de patógenos en lodos y biosólidos

ANÁLISIS DE PATÓGENOS Y PARÁSITOS DE LA COMPOSTA DE RSM	
Determinación	Técnica
Coliformes totales	NOM-AA-042
Coliformes fecales	NOM-AA-042
Escherichia coli	NOM-145-SSA1-1995
Salmonella	NOM 003-ECOL-1996
Huevos de helmintos	NOM 003-ECOL-1996

4.6.3 Muestreo de suelos y determinaciones en campo

► Muestreo inicial del sitio experimental

El primer muestreo fue aleatorio en la parcela experimental después de haber pasado la rastra y antes del marcaje de los bloques y unidades experimentales. En cada bloque se formó una muestra compuesta de aproximadamente 1.5 kg a partir de diez submuestras utilizando barrena. Las muestras fueron analizadas en el CIATEJ.

► Muestreos periódicos de suelos

A partir de la fecha de siembra, se tomaron muestras cada tres meses en todas las unidades experimentales hasta completar un año. En cada ocasión, se aplicó un muestreo sistemático simple, es decir, con la barrena se tomó siempre una muestra única en el centro de la unidad experimental a 20 cm de profundidad. En cada muestreo la distancia máxima entre sitios fue entre 5 a 10 cm; con las muestras se determinó el pH y el contenido de materia orgánica en Laboratorio de Suelos del CUCBA.

► Muestreo final de suelos

- a) Análisis químicos: En junio del 2005, se tomó poco más de 1.5 kg de suelo de los primeros 12 cm en el centro de cada unidad experimental, junto al sitio de muestreo periódico de suelos. Las muestras se tomaron usando pocera, coa y pala, y se depositaron en doble bolsa de plástico. Las muestras fueron analizadas en el CIATEJ.
- b) Determinación de la densidad aparente: Se realizó por el método del cilindro de volumen Blake y Harte, aprovechando la excavación con pocera y coa antes citada. Con el martillo se insertó el cilindro de cobre perpendicularmente a la pared del hoyo, a 10 cm por debajo de la superficie del suelo. Para extraerlo, se desmoronó la parte superior del suelo, con el objeto de sacarlo intacto y poder cortar con navaja cuidadosamente el excedente de tierra de los extremos del cilindro. Para lograr mejores resultados, se tuvo que esperar a que el suelo estuviera a capacidad de campo, puesto que el suelo seco se desmorona con facilidad. Las muestras fueron depositadas inmediatamente en frascos de vidrio y cerrados. A continuación, en el Laboratorio de Suelos del CUCBA, se secaron las muestras a 105 °C hasta peso constante, y con el peso seco más el volumen conocido del cilindro, se calculó la densidad aparente.

La determinación de la densidad aparente se realizó solamente en los **Experimentos 3** (composta al voleo, incorporada con fertilizante) y **4** (composta al voleo, incorporada sin fertilizante).

- c) Determinación de la compactación del suelo: La medición se llevó a cabo con un penetrómetro. Se consideraron solamente las profundidades con las cuales que se obtuvo la máxima presión de resistencia: 300 lbs/pulg² y se promediaron los resultados. Se tomaron alrededor de seis lecturas aleatoriamente en las unidades experimentales. La técnica recomienda un grado de humedad "adecuado" del suelo para efectuar las mediciones, por lo cual éstas se realizaron en junio del 2005, después de las primeras lluvias del temporal. La determinación de la compactación se realizó solamente en los

Experimentos 3 (composta al voleo, incorporada con fertilizante) y **4** (composta al voleo, incorporada sin fertilizante).

4.6.4 Análisis físicos y químicos de suelos

► Análisis físicos

Las determinaciones de análisis físicos, así como sus correspondientes técnicas de análisis, pueden apreciarse en el **Cuadro 12**.

Cuadro 12. Análisis físicos de suelos y sus técnicas de determinación

ANÁLISIS FÍSICOS DE SUELOS	
<u>Determinación</u>	<u>Técnica</u>
Textura Densidad aparente Compactación	Bouyoucos Cilindro de volumen Blake y Harte Penetrómetro Dickey-john

► Análisis químicos

Los análisis químicos aplicados a las muestras de suelos de los muestreos inicial y final se presentan en el **Cuadro 13**. La mayoría fueron realizados en el CIATEJ, exceptuando pH y materia orgánica, los cuales se llevaron a cabo en el Laboratorio de Suelos del CUCBA.

Cuadro 13. Análisis químicos de suelos y técnicas de determinación

ANÁLISIS QUÍMICOS DE SUELOS	
<u>Determinación</u>	<u>Técnica</u>
pH	Potenciométrico (agua 2:1)
CIC	Acetato de amonio
Materia orgánica	Walkley & Black
N	Khjeldahl
P	Mehlich III
K	Mehlich III
P	Mehlich III
S	Mehlich III
B	Mehlich III
Conductividad eléctrica	Conductimétrico

4.7 Análisis estadístico

Cada uno de los experimentos fue evaluado mediante el correspondiente análisis de varianza utilizando un nivel de significancia de 0.05. Con estos resultados, se contrastaron las hipótesis relativas al comportamiento de los tratamientos en cada uno de los ambientes. Las comparaciones entre tratamientos, se realizaron mediante contrastes ortogonales. Posteriormente se llevó a cabo un análisis conjunto que incluyó a los cuatro ambientes (experimentos) siguiendo la metodología descrita por Martínez (1988), en la cual se busca la interacción entre tratamientos y ambientes; así como la diferencia entre ambientes.

En una primera instancia se consideraron todas las variables involucradas en el estudio para cada uno de los cuatro ambientes. A partir de los resultados de este primer análisis, se trabajó únicamente con aquellas variables que presentaron diferencias significativas. Con estas variables se generaron modelos mediante la técnica de regresión.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Caracterización de la composta de RSM utilizada

5.1.1 Características químicas

La composta de RSM fue analizada en los laboratorios de suelos del CIATEJ y del CUCBA. Los resultados obtenidos pueden observarse en el **Cuadro 14**.

Cuadro 14. Caracterización química de la composta de RSM

Análisis	Método	Resultado	Interpretación*
pH	Potenciómetro en agua desionizada 1:5	7.92	Normal
MO	Walkey-Black	34.42	Normal
C orgánico	Via MO	11.02 %	Normal
Nitrógeno total	Khjeldahl	1.63 %	Normal
C:N	Aritmético	6.76	Bajo
Humedad	Gravimétrico	21.5 %	Muy seco
CE 22 mmhos/cm	Conductímetro	4.	Normal
Fósforo %	Fotométrico	0.55	Bajo
Potasio	Extractable en agua	0.24	Bajo
Calcio %	Ceniza seca	4.27	Normal

* Fuente: *Scottish Agricultural College (2001)*

El análisis de la composta de RSM (**Cuadro 14**) refleja que el material podría ser probado para uso agrícola. Cuatro estándares se ubicaron fuera del rango que la fuente bibliográfica establece como adecuado: C:N, humedad, fósforo y potasio.

5.1.2 Tamaño de partículas

La evaluación del tamaño de las partículas de composta de RSM dio por resultado que el 82.5 % del material se clasificara como menor de 1 mm de diámetro. Para apreciar mejor la distribución de los diversos tamaños se agruparon en tres categorías, según se observa en la **Figura 7**.

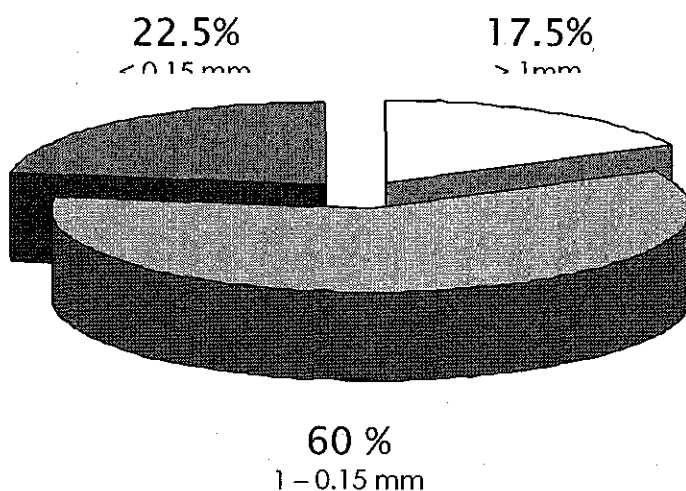


Figura 7. Distribución del tamaño de las partículas de composta

La figura anterior demuestra la notoria dominancia de textura muy fina del material compostado. Esto, aunado al bajo contenido de humedad (21.5%), hizo que el material haya sido muy pulverulento y de difícil manejo.

5.1.3 Contenido de metales pesados

Otro de los factores que determinan si la composta de RSM puede usarse o no en la producción de cultivos, es su contenido de metales pesados. De acuerdo a este criterio se analizó la composta en el laboratorio del CIATEJ y se obtuvieron los resultados que pueden observarse en el **Cuadro 15**.

Cuadro 15. Contenido de metales pesados en la composta de RSM

Metales*	Resultado	Límites permisibles**		Interpretación
		Buena	Excelente	
Zinc	1010	7 500	2 800	Sin riesgo
Plomo	265	840	300	Sin riesgo
Cadmio	2.80	85	39	Sin riesgo
Mercurio	< 0.02	57	17	Sin riesgo
Níquel	47.9	420	420	Sin riesgo
Cromo	49.80	3 000	1 200	Sin riesgo

* Técnica de análisis: Absorción atómica en base seca

** Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-004-ECOL-2001. Lodos y Biosólidos

Las concentraciones de metales pesados están dentro de los parámetros permisibles de la Norma Oficial Mexicana, por lo cual fue posible utilizar la composta de RSM en la agricultura sin ninguna restricción.

5.1.4 Contenido de patógenos y parásitos

Otro de los indicadores que determina la viabilidad o no de la composta de RSM para uso agrícola es nivel de poblaciones de microorganismos patógenos y parásitos. En el **Cuadro 16** puede verse el resultado de los análisis realizados por el CIATEJ.

Cuadro 16. Caracterización microbiológica de organismos patógenos de la composta de RSM

Organismo	Método	Resultado	Límites Permisibles*		Interpretación
			Clase A	Clase B	
Coliformes fecales	NOM-AA-042	150 NMP/g	< 1000	< 2 millones	Sin riesgo
<i>Salmonella</i>	NOM 003-ECOL-1996	Ausencia	<3	<10	Sin riesgo
Huevos de helmintos	NOM 003-ECOL-1996	2-3 / kg	<10	<35	Sin riesgo
Coliformes totales	NOM-AA-042	210 NMP/g	SD	SD	----
<i>Escherichia coli</i>	NOM-145-SSA1-1995	<3 NMP/g	SD	SD	----

* Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-004-ECOL-2001. Lodos y biosólidos
SD: Sin datos disponibles

De lo anterior se establece que los niveles de patógenos a humanos en la composta de RSM, no representan problemas de acuerdo a los límites permisibles, por lo tanto, no existen restricciones para su uso en la agricultura.

5.2 Efecto de los tratamientos en las propiedades del suelo

5.2.1 Propiedades físicas

► Densidad aparente

Los resultados de densidad aparente fueron obtenidos de los ambientes 3 (composta al voleo incorporada con fertilizante) y 4 (composta al voleo

incorporada sin fertilizante). El análisis estadístico demostró que no hubo respuesta significativa ($p > 0.05$) de esta variable a ninguna de las dosis de composta, ni tampoco a los dos ambientes de prueba.

La falta de respuesta de la densidad aparente es un fenómeno documentado en otras investigaciones, en las cuales se ha visto que durante el primer año de aplicación tampoco existió un efecto significativo de la composta (González y Cooperband, 2002). Además se ha comprobado que los efectos mejoradores tardan más de un año en manifestarse (Zibilske *et al.*, 2000). En este sentido, concuerdan otros trabajos en cuanto a que se necesitan entre 5 a 8 años de aplicación constante para notar los cambios; la intensidad de los efectos, a su vez, dependen de varios factores: Calidad del sitio, clima y calidad de las compostas (Deutsche Bundesstiftung Umwelt, 2003). También hay que considerar, que aunque las compostas mejoran las propiedades físicas y químicas del suelo, éstas pueden reducir sus beneficios en climas cálidos y húmedos, en los cuales la descomposición de la MO es más rápida que en climas templados (Dick y McCoy (1992).

► Compactación

En la fase final del cultivo, se percibió el problema de compactación de suelos en varios sitios del área experimental. Sin embargo, no fue sino hasta el mes de junio del 2005 cuando se procedió a utilizar el penetrómetro, porque es cuando el suelo estuvo húmedo (inicio del temporal), como recomienda el fabricante del equipo. Los lugares muestreados fueron cada una de las unidades experimentales de los experimentos 3 (composta al voleo incorporada con fertilizante) y 4 (composta al voleo incorporada sin fertilizante).

Como resultado de las mediciones, se pudo determinar que el máximo grado de compactación (>300 lbs/pulg²) fluctuó entre 10 y 15 cm de profundidad del suelo. Estadísticamente se verificó ($p=0.05$) que ni las dosis de composta, ni los ambientes influyeron en modificar esta condición. En otras palabras, la composta no mejoró en absoluto el estado de compactación del suelo.

No obstante, ésta es una condición normal cuando se emplean compostas en suelos compactados, ya que algunas investigaciones han demostrado que los primeros efectos pueden tardar hasta tres años en aparecer (Fuchs *et al.*, 2005), o entre cinco a ocho años (Deutsche Bundesstiftung Umwelt, 2003), aunque su manifestación en el suelo puede disminuirse en climas cálidos y húmedos a causa de la rápida descomposición de la MO (Dick y McCoy, (1992).

La labranza ha sido seguramente el principal factor de deterioro de la estructura del suelo que ha dado por resultado la compactación. Así mismo, otro factor que acentúa el problema de la compactación es el bajo contenido de MO como

resultado de tres factores: 1) La práctica común de no reincorporar los residuos de cosecha o mejoradores orgánicos, 2) El monocultivo durante varios años, y 3) La labranza misma, ya que ésta incrementa la cantidad de oxígeno en el suelo, el cual es el mayor activador de su descomposición (Wolf y Snyder, 2003).

Cuando la labranza se realiza en la fase de preparación de la cama de siembra, la densidad aparente puede incrementarse hasta 30 cm de profundidad, sobre todo si el suelo está mojado, pues el arado provoca la formación del llamado "piso de arado" (Hillel, 1982). La compactación tiene su mayor efecto en impedir el adecuado desarrollo de las raíces de las plantas (Porta *et al.*, 1999).

5.2.2 Propiedades químicas

Las propiedades químicas del suelo evaluadas en los experimentos y bajo los diferentes niveles de composta, no resultaron estadísticamente significativas ($p = 0.05$) en ninguna de los siguientes variables: **pH, MO, CIC, N, P, K, Mg, S, Fe, Mn, Na y B.**

En cambio, sí se encontraron diferencias altamente significativas ($p < 0.01$) en el **Cu**, en tres de los cuatro ambientes: composta en banda no incorporada (con y sin fertilizante (Experimentos 1 y 2) y composta al voleo incorporada con fertilizante (Experimento 3). Así mismo, el **Zn** y el **Ca** fueron los elementos que tuvieron una respuesta estadísticamente significativa en todos los casos.

En el presente trabajo se involucra únicamente la evaluación estadística del **Ca**, elemento que también fue cuantificado en la composta, a diferencia del **Zn**, que se determinó únicamente en el suelo.

Los resultados obtenidos coinciden en parte con otros trabajos. Maynard (1995), por ejemplo, reportó el incremento de 0.6 unidades de **pH** y 84% de **MO** hasta después de tres años aplicando 112 t/ha de composta de RSM. Así mismo, López-Martínez *et al.* (2000), consignó que con dosis de 20 a 30 t/ha de composta en maíz, no se registraron cambios significativos en el suelo en el **pH, CE, Ca, Mg, Na, y K**, en cambio, sí hubo aumentos en **MO, N y P**. Otros autores sugieren aplicar dosis mayores a las 34 t/ha de composta de RSM, para obtener incrementos perceptibles en la **MO** del suelo (McConnell *et al.*, (1993).

El poco impacto de la composta de RSM en los nutrientes, puede atribuirse a que estos elementos se agotaron rápidamente en el suelo, ya que se considera que las compostas inmaduras y con baja relación C:N, liberan fácilmente nutrientes, y que en pocas semanas pueden ser "digeridos" por la mayor parte microflora del suelo. Por lo contrario, las compostas maduras se transforman más lentamente en el suelo debido a la mayor resistencia que ofrecen al ataque de microbiano por las sustancias húmicas que contienen (Gottschall, 1992).

Por otra parte, la falta de respuesta en el **CIC**, podría explicarse por el hecho de que el incremento sólo puede darse con la aplicación de altas dosis de composta (34 a 68 ton/ha), ya que los niveles bajos no causan cambios, o éstos son mínimos (McConnell *et al.*, 1993).

El contenido de **P** puede no ser significativo en el primer año de aplicación de composta de RSM, pero sí ocurrir en un segundo y tercer año en dosis aplicadas entre 40 a 120 t/ha (Martínez, *et al.*, 2003). Un amplio rango de resultados se han obtenido de diferentes estudios realizados para evaluar la eficiencia de las compostas como fuente de **P**, **S**, **Ca** y **Mg** para las plantas; la incorporación de composta de RSM constituye un valioso recurso para proveer de **K** y algunos micronutrientes, como **B** y **Zn** (Gallardo-Lara y Nogales, 1987).

Bauduin *et al.* (1987), encontraron en un estudio agronómico de dos compostas de RSM, que éstas fueron relativamente pobres en nutrientes; el **Zn**, **Cu** y **Pb** tuvieron concentraciones tan altas, que alcanzaron a ser consideradas contaminantes del producto. Incrementos sustanciales pueden darse en **Cu**, **Pb**, **Cr**, **Zn**, **Cd** y **Ni** en suelos ácidos como consecuencia de aportaciones de 450 a 900 ton/ha de composta de residuos urbanos distribuidos durante seis años de trabajo experimental (Enkelmann y Völkel, 1982). A parecer, por la naturaleza de las compostas de RSM, es común que éstas aporten cantidades significativas de **Zn** y **Cu** en el suelo.

Por otra parte, con respecto al **pH**, en la literatura se reporta que las compostas de RSM con **pH** neutro a ligeramente alcalino, incrementan el **pH**, pero los cambios dependen no solamente del **pH** de este material, sino también del **pH** inicial del suelo; se necesitan entre 23 a 45 ton/ha de composta de RSM para incrementar el **pH** entre 0.5 y 1.0 unidades (McConnell *et al.*, 1993).

El hecho de que las compostas tengan un alto contenido de **Ca** y elevado **pH**, se debe a que este nutriente se encuentra en la composta en forma de carbonato de calcio libre, que se forma a partir de la descomposición de las células vegetales contenidas en los desechos. A esto obedece que las compostas, en general, pueden utilizarse para elevar el **pH** de suelos ácidos (Schmitz y Fischer, 2002).

5.2.3 Contenido de calcio en el suelo

► **EXPERIMENTO 1: Composta en banda, sin incorporar y con el 50% del fertilizante**

Los valores de calcio en los tratamientos se presentan en el **Cuadro 17** correspondientes al último muestreo de suelos (junio de 2005). Se observa la relación directa entre el contenido de calcio en el suelo y la dosis de composta aplicada. Se observa que las concentraciones de calcio del Experimento 1 fueron superiores a 15 ppm, nivel que, de acuerdo con Tisdale *et al.* (1993), para un adecuado desarrollo del maíz.

Es interesante observar una relación directa entre los niveles de composta aplicados y el calcio en el suelo; lo que significa que este tipo de materiales mejoradores puede ser utilizado para incrementar el porcentaje de saturación de bases (PSB) y con ello, la disponibilidad de calcio para las plantas (Brady y Weil, 1996).

Cuadro 17. Contenido promedio de calcio en el suelo del Experimento 1

Tratamientos	Ca ppm
To	37.23
T1	41.98
10 t/ha	43.68
20 t/ha	52.68
30 t/ha	65.68

En el **Cuadro 18** se muestra el análisis de varianza de la los datos de calcio después de haber sido convertido a logaritmos naturales para homogeneizar las varianzas.

Cuadro 18. Análisis de varianza de calcio en el suelo del Experimento 1

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Tratamientos	0.1318194	4	0.03295485	3.785*	0.032	3.259
Bloques	0.040228319	3	0.01340944	1.540	0.255	3.490
Error	0.104475739	12	0.008706312			
Total	0.276523459	19				

El análisis de varianza permite inferir, que la diferencia entre los tratamientos sí fue significativa ($p < 0.05$). Esto significa que los tratamientos sí modificaron el contenido de calcio en el suelo. Mediante la técnica de contrastes ortogonales

se estableció que la media más alta corresponde a la dosis de 30 t/ha de composta (**Cuadro 19**).

Cuadro 19. Análisis de contrastes de calcio en el suelo del Experimento 1

	To	T1	10 t/ha	20 t/ha	30 t/ha		Dw	Zw2/Dw	FC	F 0.05	
Z1	-4	1	1	1	1	220	48400	80	605	3.56041	4.74723
Z2	0	-3	1	1	1	144	20736	48	432	2.54231	4.74723
Z3	0	0	-1	2	-1	-15.6	243.36	24	10.14	0.05967	4.74723
Z4	0	0	-1	0	1	87.6	7673.8	8	959.22	5.64498*	4.74723

En la **Figura 8** se muestra la concentración de calcio en función de la dosis de composta. Esta relación se ajusta a un modelo de regresión de segundo orden el cual tiene una R^2 de 0.4144, el cual es significativo ($p < 0.05$).

La dispersión de los datos hace que disminuya el valor de R^2 , sin embargo la tendencia es claramente ascendente, es decir, mayor dosis de composta significa un mayor contenido de calcio en el suelo.

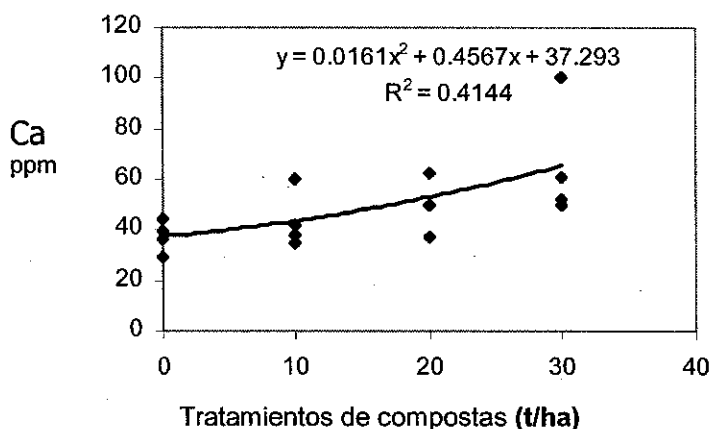


Figura 8. Modelo de calcio en el suelo del Experimento 1

El incremento del calcio en el suelo no produjo incrementos en el pH, lo cual se explica por la capacidad de amortiguamiento del suelo (Fassbender, 1975). Para McConnell *et al.*, (1993), se necesitan entre 23 a 45 t/ha de composta de RSM para incrementar el pH entre 0.5 y 1.0 unidades. Otros autores opinan que un cambio en el pH, requiere dosis altas de composta, y aplicar este material al

menos durante tres años, para que pudiera esperarse una respuesta (Maynard, 1995).

► **EXPERIMENTO 2: Composta en banda, sin incorporar y sin fertilizante**

En el **Cuadro 20** se muestran los valores de calcio en tratamientos en el Experimento 2. Aquí se observa que, aunque la concentración de calcio se va incrementando conforme al aumento de la dosis de composta, en el tratamiento con 20 t/ha se nota un decremento.

Esto probablemente ocurrió a causa a la erosión del material en algunas parcelas experimentales, que finalmente alteró la concentración de calcio en los sitios de aplicación.

A pesar de esto, las concentraciones de calcio fueron superiores a 15 ppm en la solución del suelo, lo que significa que en estas condiciones el maíz no tendría problemas de desarrollo (Tisdale *et al.*, 1993).

Cuadro 20. Contenido promedio de calcio en el suelo del Experimento 2

Tratamientos	Ca ppm
To	30.78
T1	20.35
10 t/ha	35.83
20 t/ha	26.00
30 t/ha	47.75

En el **Cuadro 21** se muestra el análisis de varianza de la los datos de calcio en valores convertidos a logaritmos naturales, para homogeneizar las varianzas.

Cuadro 21. Análisis de varianza de calcio en el suelo del Experimento 2

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Tratamientos	0.32527054	4	0.081317635	4.987*	0.013	3.259
Bloques	0.010539214	3	0.003513071	0.215	0.884	3.490
Error	0.195687702	12	0.016307308			

El análisis de varianza anterior permite inferir, que la diferencia entre los tratamientos fue significativa ($p < 0.05$). En el análisis de contrastes ortogonales del **Cuadro 22**, se demuestra que el ambiente de este experimento influyó significativamente en el calcio. Todos los tratamientos de composta fueron superiores a los testigos (To y T1), mientras que el tratamiento de 30 t/ha fue superior a dos restantes.

Cuadro 22. Análisis de contrastes de calcio en el suelo del Experimento 2

	To	T1	10 t/ha	20 t/ha	30 t/ha		Dw	Zw2/Dw	FC	F 0.05	
Z1	-4	1	1	1	1	27.3	745.29	80	9.31613	0.10463	4.74723
Z2	0	-3	1	1	1	194.1	37675	48	784.892	8.81509*	4.74723
Z3	0	0	-1	2	-1	-126.3	15952	24	664.654	7.4647*	4.74723
Z4	0	0	-1	0	1	47.7	2275.3	8	284.411	3.19421	4.74723

La razón por la cual la dosis de composta de 20 ton/ha se mostró deprimida, podría obedecer al hecho de que el material quedó expuesto a la acción de la lluvia y del viento, lo que afectó de manera desigual a las unidades experimentales.

En la **Figura 9** se observa que el valor de R^2 es bajo (0.296) y significativo ($p < 0.05$), aunque es clara la tendencia ascendente.

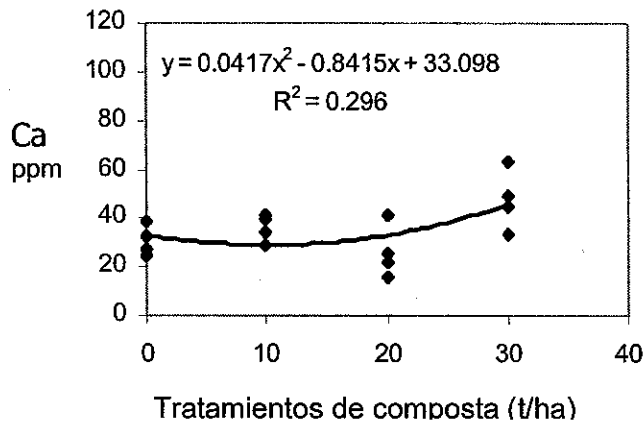


Figura 9. Modelo de calcio en el suelo del Experimento 2

El calcio contenido en la composta no mejoró la condición de acidez del suelo. Si este fuera uno de los objetivos de aplicar la composta, entonces se requerirían dosis mucho mayores y un plazo de más de dos años (McConnell *et al.*, 1993; Maynard, 1995).

► **EXPERIMENTO 3:** Composta al voleo, incorporada y con el 50% de fertilizante

En el **Cuadro 23** no se presenta una clara tendencia de incremento de calcio conforme aumenta la dosis de composta. Sin embargo sí es claro que los dos testigos (To y T1) presentaron los valores más bajos en el contenido de calcio. En tanto que el tratamiento de 10 t/ha presentó un nivel más alto de calcio con respecto a las dosis de 20 y 30 t/ha.

La discordancia de estos datos es atribuible a dos procesos que actuaron al mismo tiempo: 1) Erosión del material, dado que algunas lluvias fueron muy intensas y alcanzaron a desplazar el material hacia fuera de las unidades experimentales y 2) El efecto de la lixiviación, dado que la composta se mezcló en los primeros 15 cm del suelo. Independientemente de estas consideraciones, resalta que en todos los casos, incluyendo los testigos, que los contenidos de calcio en el suelo son superiores al límite crítico (15 ppm), aunque en los testigos apenas se alcanzó este límite de (Tisdale *et al.*, 1993).

Cuadro 23. Contenido promedio de calcio en el suelo del Experimento 3

Tratamientos	Ca ppm
To	15.10
T1	15.75
10 t/ha	41.08
20 t/ha	37.30
30 t/ha	36.40

En el **Cuadro 24** se muestra el análisis de varianza con los datos del calcio convertidos a logaritmos naturales, para homogeneizar las varianzas.

Cuadro 24. Análisis de varianza de calcio en el suelo del Experimento 3

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Tratamientos	0.647708195	4	0.161927049	4.604*	0.017	3.259

Bloques	0.123366233	3	0.041122078	1.169	0.362	3.490
Error	0.422018239	12	0.035168187			
Total	1.193092666	19				

El análisis de varianza anterior permite inferir, que la diferencia entre los tratamientos fue significativa ($p < 0.05$). De acuerdo al análisis de contrastes ortogonales del **Cuadro 25**, son mejores los niveles: 10, 20 y 30 t/ha de composta, que aplicar fertilizante solo, lo que se explicaría por el contenido de calcio en la composta, que es mayor al del fertilizante (Tisdale *et al.*, 1993). Cabe destacar que no existió diferencia significativa entre ninguno de los tratamientos de compostas.

Cuadro 25. Análisis de contrastes de calcio en el suelo del Experimento 3

	To	T1	10 t/ha	20 t/ha	30 t/ha		Dw	Zw2/Dw	FC	F 0.05	
Z1	-4	1	1	1	1	280.5	78680	80	983.503	4.41993	4.74723
Z2	0	-3	1	1	1	270.1	72954	48	1519.88	6.83042*	4.74723
Z3	0	0	-1	2	-1	-11.5	132.25	24	5.51042	0.02476	4.74723
Z4	0	0	-1	0	1	-18.7	349.69	8	43.7113	0.19644	4.74723

En la **Figura 10** está claro que el valor de R^2 de calcio, el cual es significativo ($p < 0.05$), es muy baja a causa de la amplia dispersión de los datos, aunque no se detecta una tendencia ascendente marcada entre los tratamientos de 10, 20 y 30 t/ha.

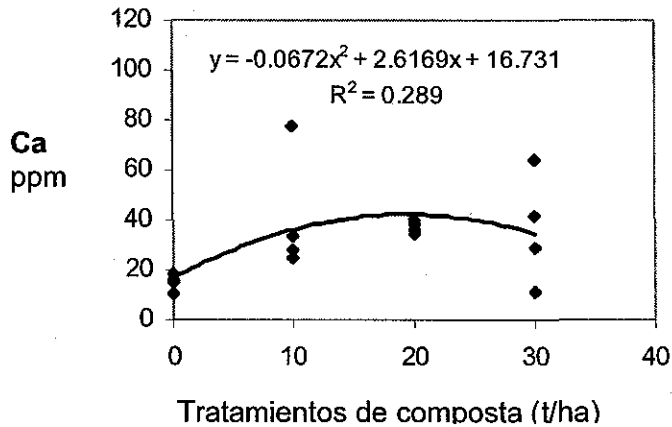


Figura 10. Modelo de calcio en el suelo del Experimento 3

► **EXPERIMENTO 4: Composta al voleo, incorporada y sin fertilizante**

En el **Cuadro 26** se observa que la aplicación de composta influyó notablemente en el contenido de calcio en el suelo; el mayor contenido se encontró en el tratamiento de 30 t/ha. En todos los casos los contenidos de calcio son muy superiores al límite de 15 ppm.

Cuadro 26. Contenido promedio de calcio en el suelo del Experimento 4

Tratamientos	Ca ppm
To	21.80
T1	19.55
10 t/ha	26.73
20 t/ha	23.73
30 t/ha	34.15

En el **Cuadro 27** se muestra el análisis de varianza de la los datos anteriores convertidos a logaritmos naturales, para homogeneizar las varianzas.

Cuadro 27. Análisis de varianza de calcio en el suelo del Experimento 4

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Tratamientos	0.136358695	4	0.034089674	3.682	0.035	3.259
Bloques	0.116082462	3	0.038694154	4.179	0.031	3.490
Error	0.111102386	12	0.009258532			
Total	0.363543543	19				

El análisis de varianza demuestra que la diferencia entre los tratamientos fue significativa ($p < 0.05$). Al igual que en Experimento 2, el análisis de contrastes ortogonales (**Cuadro 28**) dio por resultado que los tres tratamientos de composta no fueron estadísticamente diferentes entre sí, pero fueron superiores a los testigos.

Cuadro 28. Análisis de contrastes de calcio en el suelo del Experimento 4

	To	T1	10 t/ha	20 t/ha	30 t/ha		Dw	Zw2/Dw	FC	F 0.05	
Z1	-4	1	1	1	1	67.8	4596.8	80	57.4605	1.71812	4.74723
Z2	0	-3	1	1	1	103.8	10774	48	224.468	6.71179*	4.74723
Z3	0	0	-1	2	-1	-53.7	2883.7	24	120.154	3.59271	4.74723
Z4	0	0	-1	0	1	29.7	882.09	8	110.261	3.29692	4.74723

La **Figura 11** El valor de R^2 , el cual es significativo ($p < 0.05$), es bajo pero se observa una tendencia ascendente, como ocurrió en el Experimento 3.

También aquí se debió presentar un efecto combinado de lixiviación del material incorporado en el suelo con escurrimientos superficiales.

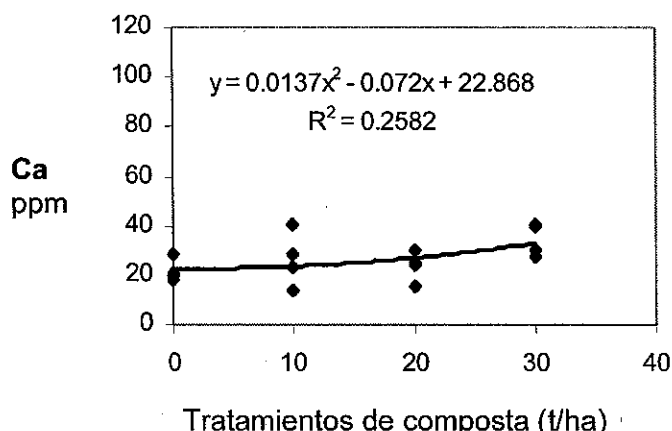


Figura 11. Modelo de calcio en el suelo del Experimento 4

5.3 Efecto de los tratamientos en el rendimiento del maíz

5.3.1 Rendimiento del grano

La respuesta en grano en los cuatro experimentos fue analizada estadísticamente. Enseguida se presentan los resultados y la interpretación bajo los efectos de los cuatro ambientes.

► **EXPERIMENTO 1:** Composta en banda, sin incorporar y con el 50% del fertilizante

En el **Cuadro 29** se muestran los valores de grano promedio para los tratamientos. Se observa un incremento del rendimiento de grano por efecto de los niveles de composta.

Cuadro 29. Rendimiento promedio de grano del Experimento 1

Tratamientos	Grano t/ha
To	4.81
T1	6.54
10 t/ha	6.84
20 t/ha	7.25
30 t/ha	7.41

En el **Cuadro 30** se muestra el análisis de varianza de la los datos anteriores.

Cuadro 30. Análisis de varianza de grano del Experimento 1

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Tratamientos	17.3758286	4	4.34395714	9.4740	0.0011	3.2592
Bloques	1.54849386	3	0.51616462	1.1257	0.3775	3.4903
Error	5.50214613	12	0.45851218			
Total	24.4264685	19				

El efecto de los tratamientos en el rendimiento de grano fue altamente significativo ($p < 0.01$). El análisis de contrastes ortogonales (**Cuadro 31**) dio por resultado que las tres dosis de composta y el tratamiento con fertilizante (T1) fueron superiores al testigo To ($p < 0.05$), es decir, los tratamientos de composta y el T1 fueron estadísticamente iguales.

Cuadro 31. Análisis de contrastes de grano del Experimento 1

	To	T1	10 t/ha	20 t/ha	30 t/ha	Zwi	Zwi2	Dw	Zw2/Dw	FC	F 0.05
Z1	-4	1	1	1	1	35.2204	1240.47	80	15.5059	33.8179*	4.7472
Z2	0	-3	1	1	1	7.46436	55.7166	48	1.16076	2.53159	4.7472
Z3	0	0	-1	2	-1	0.97532	0.95126	24	0.03964	0.08644	4.7472
Z4	0	0	-1	0	1	2.31432	5.35609	8	0.66951	1.46018	4.7472

En la **Figura 12** se presenta el modelo de rendimiento en función de los niveles de composta; el valor de R^2 es significativo ($p < 0.05$). Se observa el sinergismo entre fertilizante y composta en el incremento del rendimiento, lo cual es esperado de acuerdo con diferentes autores (Shiralipour *et al.*, 1992; Garland *et al.*, 1995; EPA, 1998). Con respecto a la composta, se probó su efecto significativo al pasar de cero a cualquiera de los otros niveles utilizados.

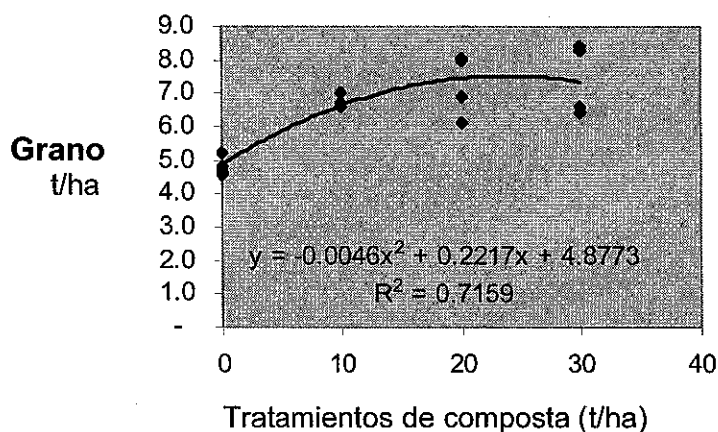


Figura 12. Modelo de rendimiento de grano del Experimento 1

► **EXPERIMENTO 2: Composta en banda, sin incorporar y sin fertilizante**

En el **Cuadro 32** se muestran los valores de grano promedio para los tratamientos. Se observa un incremento del rendimiento de grano por efecto de los niveles de composta.

Cuadro 32. Rendimiento promedio de grano del Experimento 2

Tratamientos	Grano t/ha
To	4.57
T1	6.11
10 t/ha	5.83
20 t/ha	6.31
30 t/ha	6.52

En el **Cuadro 33** se muestra el análisis de varianza de la los datos anteriores.

Cuadro 33. Análisis de varianza de grano del Experimento 2

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Tratamientos	9.50218214	4	2.37554554	4.8040	0.0151	3.2592
Bloques	4.79687856	3	1.59895952	3.2335	0.0607	3.4903
Error	5.93391978	12	0.49449332			
Total	20.2329805	19				

El análisis de varianza demuestra que el efecto de los tratamientos en el rendimiento de grano fue significativa ($p < 0.05$). Esto es, existe una influencia de los niveles de composta sobre el rendimiento de grano de los tratamientos aplicados.

En el análisis de contrastes ortogonales (**Cuadro 34**) se aprecia que el testigo con fertilizante (T1) y las dosis de composta no fueron estadísticamente diferentes entre sí ($p < 0.05$), pero resultaron superiores que el testigo absoluto (To).

Cuadro 34. Análisis de contrastes de grano del Experimento 2

	To	T1	10 t/ha	20 t/ha	30 /ha	Zwi	Zwi2	Dw	Zw2/Dw	FC	F 0.05
Z1	-4	1	1	1	1	26.0295	677.532	80	8.46916	17.1269*	4.7472
Z2	0	-3	1	1	1	1.346	1.81171	48	0.03774	0.07633	4.7472
Z3	0	0	-1	2	-1	1.06858	1.14186	24	0.04758	0.09621	4.7472
Z4	0	0	-1	0	1	2.75348	7.58164	8	0.9477	1.91652	4.7472

Como se observa en la **Figura 13** que el valor de R^2 fue significativo ($p < 0.05$). Existe una clara tendencia ascendente conforme aumenta la dosis de composta.

Estos resultados significan que la composta puede sustituir al fertilizante con dosis mayores de 20 t/ha, pero es aún mejor combinar la composta con los fertilizantes, como se demostró en el Experimento 1, donde se obtuvieron incrementos entre el 12 y 14% en el rendimiento.

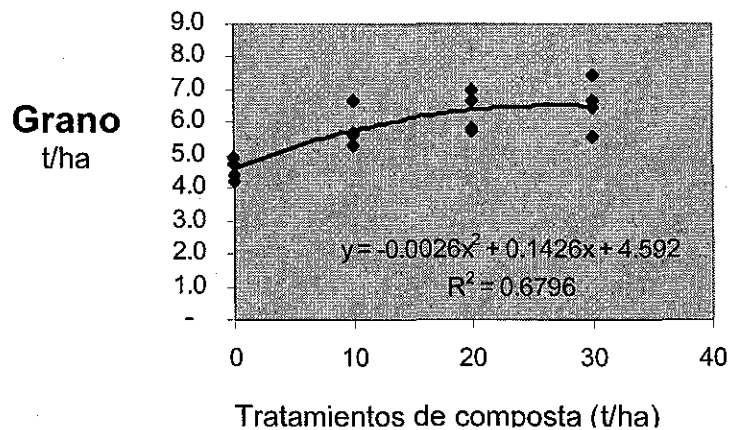


Figura 13. Modelo de rendimiento de grano del Experimento 2

► **EXPERIMENTO 3: Composta al voleo, incorporada y con el 50% de fertilizante**

En el **Cuadro 35** se muestran los valores de grano medidos en los tratamientos del Experimento 3. El rendimiento se incrementa conforme aumenta la dosis de composta.

Cuadro 35. Rendimiento promedio de grano del Experimento 3

Tratamientos	Grano t/ha
To	4.06
T1	4.19
10 t/ha	4.53
20 t/ha	5.31
30 t/ha	5.50

En el **Cuadro 36** se muestra el análisis de varianza de los datos anteriores.

Cuadro 36. Análisis de varianza de grano del Experimento 3

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Tratamientos	6.85815144	4	1.71453786	17.0112	0.0001	3.2592
Bloques	0.45523198	3	0.15174399	1.5056	0.2632	3.4903
Error	1.20946532	12	0.10078878			

La respuesta del rendimiento de grano a los efectos de los tratamientos fue altamente significativa ($p < 0.01$). En el análisis de contrastes ortogonales (**Cuadro 37**) se aprecia que To resultó diferente al resto de los tratamientos (T1, 10, 20 y 30 t/ha). Los tratamientos que incluyen la aplicación de composta (10, 20 y 30 t/ha) fueron significativamente superiores al testigo que incluyó únicamente fertilizante (T1). Así mismo, se detectó diferencias significativas por efecto de la aplicación de 30 t/ha respecto a la aplicación de 10 t/ha composta.

Cuadro 37. Análisis de contrastes de grano del Experimento 3

	To	T1	10 t/ha	20 t/ha	30 t/ha	Zwi	Zwi2	Dw	Zw2/Dw	FC	F 0.05
Z1	-4	1	1	1	1	13.136	172.554	80	2.15693	21.4005*	4.7472
Z2	0	-3	1	1	1	11.1266	123.802	48	2.57921	25.5902*	4.7472
Z3	0	0	-1	2	-1	2.37445	5.63803	24	0.23492	2.3308	4.7472
Z4	0	0	-1	0	1	3.88546	15.0968	8	1.8871	18.7233*	4.7472

En la **Figura 14** el valor de la R^2 resultó significativo ($p < 0.05$). Aunque la respuesta no es muy intensa, sí se aprecia ascenso consistente con poca curvatura.

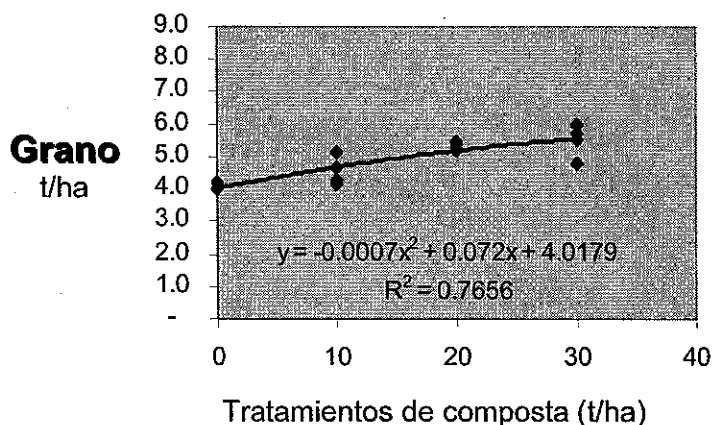


Figura 14. Modelo de rendimiento de grano del Experimento 3

El hecho de no haberse presentado una respuesta más intensa en los tratamientos de composta, podría atribuirse a que la composta incorporada se sometió a una intensa mineralización en el suelo, debido a varios factores: 1) La baja relación C:N de la composta provocó una rápida actividad de los microorganismos del suelo para degradarla en pocas semanas, de tal manera que no incrementó el rendimiento del cultivo (Gottscharf, 1992); 2) La actividad microbiológica se acentuó por el hecho de que existieron las condiciones

ambientales óptimas: altas temperaturas y elevada humedad (Sánchez (1981; Kononova, 1982; Dalzell *et al.*, 1991; Dick y McCoy. 1992); 3) El tamaño de las partículas de composta fue muy fina, por lo que la velocidad de mineralización pudo triplicarse (Stoffela y Kahn, 2001) y 4) La composta no estaba madura, ya que el proceso de compostaje duró sólo 75 días por lo que no pasó el período de “curado”, que puede variar entre uno a doce meses más para lograr la estabilidad, es decir, que la falta de estabilidad da por consecuencia que la composta se degrade con rapidez en el suelo (Rynk *et al.*, 1992; EPA, 1994; Dunst, 1997 y Cooperband, 2001).

No siempre existe una respuesta de los cultivos a la aplicación de composta. Existen varias referencias que apuntan a que en el primer año de aplicación a veces no hay respuesta, pero en los años posteriores (dos o tres años) sí se aprecian sus efectos (Mamo *et al.*, 1998 y Hartl y Erhart (2002).

Cabe hacer la aclaración, que en este experimento se detectó una fuerte compactación del suelo, lo cual incidió seguramente en el rendimiento del cultivo, ya que ésta limita la absorción de nutrientes (Porta *et al.*, 1999). Al hacer una excavación en el sitio experimental se pudo constatar la existencia de un incipiente piso de arado a 25 cm de profundidad, originado por la intensa labranza del terreno (Hillel, 1982).

► EXPERIMENTO 4: Composta al voleo, incorporada y sin fertilizante

En el **Cuadro 38** se muestran los valores de rendimiento de grano medidos en los tratamientos del Experimento 4.

Cuadro 38. Rendimiento promedio de grano del Experimento 4

Tratamientos	Grano t/ha
To	3.57
T1	4.88
10 t/ha	4.86
20 t/ha	5.74
30 t/ha	5.82

En el **Cuadro 39** se muestra el análisis de varianza de la los datos anteriores.

Cuadro 39. Análisis de varianza de grano del Experimento 4

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Tratamientos	13.194077	4	3.29851924	4.2138	0.0233	3.2592
Bloques	1.57918726	3	0.52639575	0.6725	0.5852	3.4903
Error	9.39345432	12	0.78278786			
Total	24.1667185	19				

El análisis de varianza muestra que hubo respuesta significativa ($p < 0.05$) a la producción de grano por efecto de los tratamientos En el análisis de contrastes ortogonales (**Cuadro 40**) se aprecia que el testigo con fertilizante (T1) y todos los tratamientos con composta fueron iguales entre sí, pero en conjunto, superiores al testigo absoluto (To).

Cuadro 40. Análisis de contrastes de grano del Experimento 4

	To	T1	10 t/ha	20 t/ha	30 t/ha	Zwi	Zwi2	Dw	Zw2/Dw	FC	F 0.05
Z1	-4	1	1	1	1	28.0631	787.54	80	9.84425	12.5759*	4.7472
Z2	0	-3	1	1	1	7.15994	51.2647	48	1.06802	1.36437	4.7472
Z3	0	0	-1	2	-1	3.24093	10.5036	24	0.43765	0.55909	4.7472
Z4	0	0	-1	0	1	3.841	14.7533	8	1.84416	2.35589	4.7472

En la **Figura 15** puede verse que el valor de R^2 el cual fue significativo ($p < 0.05$). Existe la tendencia de incremento en el rendimiento, conforme aumenta la cantidad de composta adicionada.

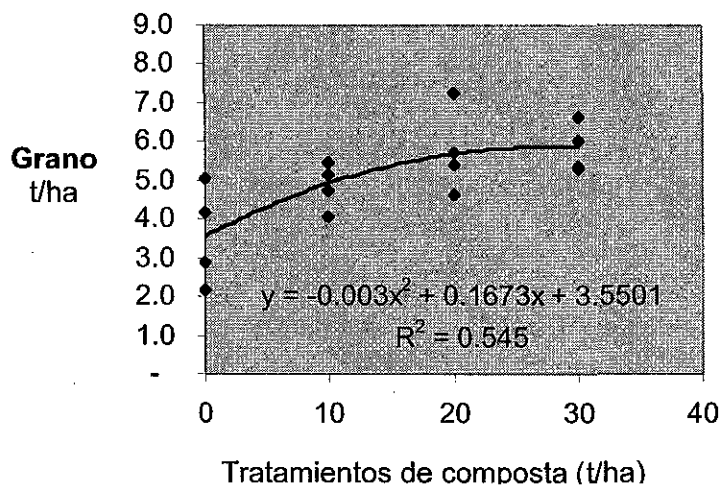


Figura 15. Modelo de rendimiento de grano del Experimento 4

Si se comparan los promedios de grano de los Experimento 3 y 4, se puede observar que son muy similares, aún a pesar de que en el Experimento 3 se aplicó fertilizante, y por tanto, en ese caso eran de esperarse mayores rendimientos. La baja respuesta del maíz en la producción de grano podría explicarse del mismo modo que en el caso del Experimento 3.

5.3.2 Rendimiento de biomasa

Al igual que el grano, el incremento en la producción de biomasa por efecto de los tratamientos, fue significativa en los experimentos. A continuación se presentan los análisis estadísticos y la interpretación de los resultados referentes a los cuatro ambientes.

► EXPERIMENTO 1: Composta en banda, sin incorporar y con el 50% del fertilizante

En el **Cuadro 41** se muestran los valores de biomasa promedio de los tratamientos del Experimento 3. El rendimiento se incrementa conforme aumenta la dosis de composta.

Cuadro 41. Rendimiento promedio de biomasa del Experimento 1

Tratamientos	Biomasa t/ha
To	13.44
T1	14.91
10 t/ha	16.13
20 t/ha	16.22
30 t/ha	18.36

En el **Cuadro 42** se muestran los valores promedios de biomasa en los tratamientos.

Cuadro 42. Análisis de varianza de biomasa del Experimento 1

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Tratamientos	52.64395047	4	13.16098762	9.2121**	0.0012	3.2592
Bloques	6.888321697	3	2.296107232	1.6072	0.2395	3.4903
Error	17.14404601	12	1.428670501			
Total	76.67631818	19				

Los resultados del análisis de varianza muestran que el efecto de los tratamientos fue altamente significativo ($p < 0.01$) sobre la producción de biomasa. A fin de evaluar cuáles tratamientos dieron los mejores resultados, se aplicó el análisis de contrastes ortogonales (**Cuadro 43**) se aprecia que To resultó diferente al resto de los tratamientos (T1, 10, 20 y 30 t/ha). Los tratamientos que incluyen la aplicación de composta (10, 20 y 30 t/ha) fueron significativamente superiores al testigo que incluyó únicamente fertilizante (T1). Así mismo, se detectó diferencias significativas por efecto de la aplicación de 30 t/ha respecto a la aplicación de 10 t/ha composta.

Cuadro 43. Análisis contrastes de biomasa en el Experimento 1

	To	T1	10 t/ha	20 t/ha	30 /ha	Zwi	Zwi2	Dw	Zw2/Dw	FC	F 0.05
Z1	-4	1	1	1	1	47.3583	2242.81	80	28.03513	19.62323*	4.74722
Z2	0	-3	1	1	1	23.8861	570.5468	48	11.88639	8.3198971*	4.74722
Z3	0	0	-1	2	-1	8.18211	66.94685	24	2.789452	1.9524811	4.74722
Z4	0	0	-1	0	1	8.91425	79.46382	8	9.932978	6.9526021*	4.74722

En la **Figura 16** se observa que el modelo alcanzó una R^2 de 0.613 significativa ($p < 0.05$). Se observa la tendencia ascendente de la curva conforme se incrementa la dosis de composta.

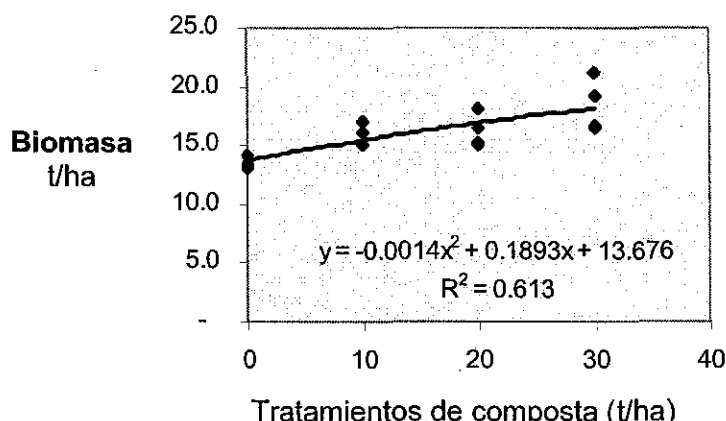


Figura 16. Modelo de rendimiento de biomasa del Experimento 1

La débil respuesta de la biomasa a la aplicación de composta puede atribuirse sobre todo a la falta de estabilidad de la composta, su tamaño muy fino y las condiciones ambientales favorables para su rápida mineralización (Rynk *et al.*, 1992; Cooperband, 2001; Stoffela y Kahn, 2001; Kononova, 1982; Dalzell *et al.*, 1991; Dick y McCoy, 1992).

► **EXPERIMENTO 2: Composta en banda, sin incorporar y sin fertilizante**

En el **Cuadro 44** se muestran los valores de biomasa medidos en los tratamientos del Experimento 2.

Cuadro 44. Rendimiento promedio de biomasa del Experimento 2

Tratamientos	Biomasa t/ha
To	12.59
T1	13.83
10 t/ha	14.34
20 t/ha	14.55
30 t/ha	15.58

En el **Cuadro 45** se muestra el análisis de varianza de la los datos anteriores.

Cuadro 45. Análisis de varianza de biomasa del Experimento 2

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Tratamientos	19.96099428	4	4.99024857	2.1379	0.1386	3.2592
Bloques	6.022547543	3	2.007515848	0.8600	0.4881	3.4903
Error	28.01041175	12	2.334200979			
Total	53.99395358	19				

Los resultados del análisis hacen constar que no hubo efecto de los tratamientos en la producción de biomasa en este experimento. De cualquier manera, se procedió a evaluar cuáles tratamientos tuvieron una mejor respuesta a través de análisis de contrastes ortogonales.

Como se muestra en el **Cuadro 46**, todos los tratamientos de composta y el testigo con fertilizante (T1) no fueron diferentes entre sí, pero sí los fueron con respecto el testigo absoluto (To).

Cuadro 46. Análisis de contrastes de biomasa del Experimento 2

	To	T1	10 t/ha	20 t/ha	30 /ha	Zwi	Zwi2	Dw	Zw2/Dw	FC	F 0.05
Z1	-4	1	1	1	1	30.7642	946.4364	80	11.83046	5.0683105*	4.74722
Z2	0	-3	1	1	1	14.9094	222.2905	48	4.631051	1.9839984	4.74722
Z3	0	0	-1	2	-1	3.29334	10.84611	24	0.451921	0.1936085	4.74722
Z4	0	0	-1	0	1	4.93766	24.38053	8	3.047567	1.3056145	4.74722

La **Figura 17** permite corroborar los resultados anteriores con una R^2 de 0.3433, significativa. Sin embargo, se aprecia una ligera pero clara tendencia ascendente conforme aumenta la dosis de composta.

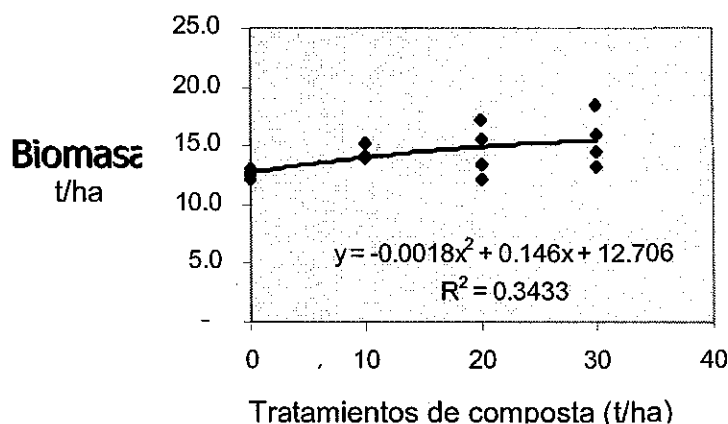


Figura 17. Modelo de rendimiento de biomasa del Experimento 2

La nula respuesta de la biomasa a los tratamientos de composta tiene la misma explicación que en el caso anterior, en el sentido de que hubo una rápida mineralización de la composta. También es importante recalcar que en el primer año de aplicación, no siempre se tienen resultados sobresalientes en el rendimiento, como se discutió anteriormente.

► **EXPERIMENTO 3: Composta al voleo, incorporada y con el 50% de fertilizante**

En el **Cuadro 47** se muestran los valores de biomasa promedios de los tratamientos.

Cuadro 47. Rendimiento promedio de biomasa del Experimento 3

Tratamientos	Biomasa t/ha
To	11.33
T1	14.51
10 t/ha	14.85
20 t/ha	15.43
30 t/ha	16.78

En el **Cuadro 48** se muestra el análisis de varianza de la los datos anteriores.

Cuadro 48. Análisis de varianza de biomasa del Experimento 3

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad para F	Valor crítico para F
Tratamientos	64.83983136	4	16.20995784	11.6454**	0.0004	3.2592
Bloques	0.363053704	3	0.121017901	0.0869	0.9659	3.4903
Error	16.70359968	12	1.39196664			
Total	81.90648474	19				

El efecto de los tratamientos evaluados en el análisis de varianza fue altamente significativo ($p < 0.01$), mientras que en el análisis de contrastes ortogonales del **Cuadro 49**, muestra que el testigo con fertilizante (T1) y los tratamientos con composta de 10, 20 y 30 t/ha fueron iguales entre sí, pero superiores al testigo absoluto (To). El tratamiento con 30 t/ha superó al de 10 t/ha de composta.

Cuadro 49. Análisis de contrastes de biomasa del Experimento 3

	To	T1	10 t/ha	20 t/ha	30 t/ha	Zwi	Zwi2	Dw	Zw2/Dw	FC	F 0.05
Z1	-4	1	1	1	1	65.007	4225.97	80	52.8246	37.95*	4.7472
Z2	0	-3	1	1	1	14.127	199.566	48	4.15762	2.9869	4.7472
Z3	0	0	-1	2	-1	-3.042	9.25621	24	0.38568	0.2771	4.7472
Z4	0	0	-1	0	1	7.7315	59.7756	8	7.47195	5.3679*	4.7472

En la **Figura 18** se observa un valor de R2 de 0.7938, el cual fue significativo ($p < 0.05$). Se observa una clara tendencia ascendente conforme aumenta la dosis de composta.

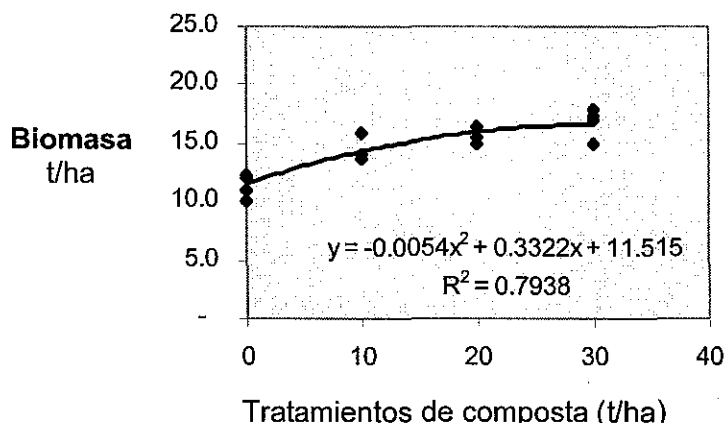


Figura 18. Modelo de rendimiento de biomasa del Experimento 3

El tratamiento con 10 t/ha de composta tuvo casi el mismo rendimiento que el de testigo con fertilizante (T1), pero con la dosis de 20 ton/ha se distingue un incremento de 920 kg (5.96%), mientras que entre el tratamiento de 20 t/ha y 30 t/ha el incremento fue mucho mayor, es decir, 1350 kg (8.04%).

En este experimento, se presentó un efecto combinado con el fertilizante que se reflejó en el rendimiento de biomasa. La respuesta de la aplicación de composta fue menor a lo esperado, posiblemente porque influyó la rápida mineralización por la acción combinada de varios factores favorables, antes citados.

► EXPERIMENTO 4: Composta al voleo, incorporada y sin fertilizante

En el Cuadro 50 se muestran los valores de biomasa medidos en los tratamientos del Experimento 4. La respuesta del rendimiento fue proporcional a la adición de dosis de composta.

Cuadro 50. Rendimiento promedio de biomasa del Experimento 4

Tratamientos	Biomasa t/ha
To	9.90
T1	12.90
10 t/ha	13.74
20 t/ha	13.81
30 t/ha	14.36

En el **Cuadro 51** se muestra el análisis de varianza de la los datos anteriores.

Cuadro 51. Análisis de varianza de biomasa del Experimento 4

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Tratamientos	50.64343609	4	12.66085902	5.0899*	0.0124	3.2592
Bloques	9.697470941	3	3.232490314	1.2995	0.3197	3.4903
Error	29.8491738	12	2.48743115			
Total	90.19008083	19				

La producción de biomasa fue diferente estadísticamente entre los tratamientos con un nivel de significancia de $p < 0.05$. Los tratamientos que sobresalieron, de acuerdo al análisis de contrastes ortogonales (**Cuadro 52**), fueron el grupo compuesto por el testigo con fertilizante (T1) y las tres dosis de composta, sobre el testigo absoluto (To).

Cuadro 52. Análisis de contrastes de biomasa del Experimento 4

	To	T1	10 t/ha	20 t/ha	30 t/ha	Zwi	Zwi2	Dw	Zw2/Dw	FC	F 0.05
Z1	-4	1	1	1	1	60.843	3701.84	80	46.2729	18.603*	4.7472
Z2	0	-3	1	1	1	12.893	166.217	48	3.46285	1.3921	4.7472
Z3	0	0	-1	2	-1	1.9091	3.64483	24	0.15187	0.0611	4.7472
Z4	0	0	-1	0	1	2.4589	6.04618	8	0.75577	0.3038	4.7472

En otras palabras, todos los tratamientos con compostas no se diferenciaron entre sí, ni con el testigo con fertilizante (T1), pero todos ellos fueron mejores que el testigo absoluto (To). En la **Figura 19** se observa una regresión de 0.526, la cual fue significativa ($p < 0.05$). La tendencia de la curva es a estabilizarse entre las dosis de 20 a 30 t/ha de composta.

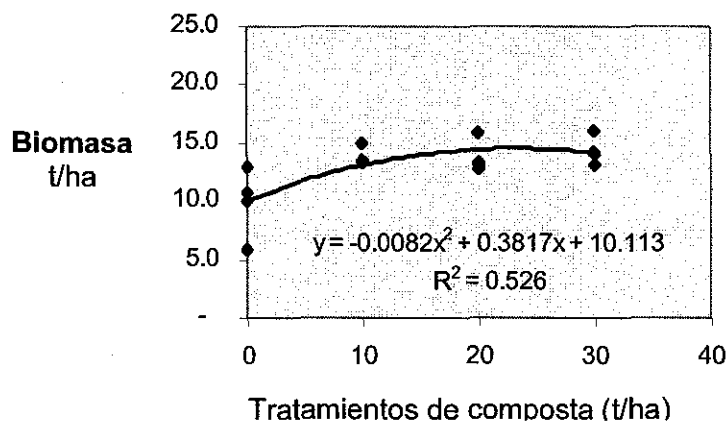


Figura 19. Modelo de rendimiento de biomasa del Experimento 4

A pesar de que el tratamiento de 30 t/ha de composta tuvo el mayor rendimiento y superó al testigo con fertilizante (T1) con un 10.7%, no fue suficiente para que estadísticamente se determinara alguna diferencia significativa. En este ambiente en particular, y en términos absolutos, la composta podría sustituir el uso del fertilizante.

Sin embargo, comparando el Experimento 4 con el 3, se aprecia que la aplicación combinada de composta con fertilizante incrementa entre el 7.5 y el 14% la producción de biomasa, y que es mayor el porcentaje de incremento, en tanto mayor sea la dosis de composta.

5.4 Análisis combinado entre ambientes

5.4.1 Expectativas del análisis combinado

El análisis combinado es la herramienta estadística que se empleó para conocer si existieron diferencias entre los cuatro ambientes (experimentos) y sus correspondientes tratamientos. Este análisis y discusión se referirá únicamente a las variables que ayuden a identificar el efecto entre ambientes; con respecto a tratamientos ya no hará falta ampliar la discusión, pues ésta fue agotada al presentar la información por experimento (apartados 5.2.3, 5.31 y 5.3.2)

5.4.2 Efecto sobre el calcio del suelo

En el Cuadro 53 se presentan los promedios de calcio en el suelo contenido en los cuatro ambientes.

Cuadro 53. Contenido promedio de calcio en el suelo en los ambientes

Ca Promedio ppm	Ambientes	
	Nº	Descripción
48.25	1.	Composta en banda, sin incorporar y con fertilizante
32.14	2.	Composta en banda, sin incorporar y sin fertilizante
29.13	3.	Composta al voleo, incorporada y con fertilizante
25.19	4.	Composta al voleo incorporada y sin fertilizante

En el Cuadro 54 se muestra que hubo diferencias significativas entre ambientes sin detectarse efectos significativos en la interacción ambientes x tratamientos. Esto significa que el ambiente, generado mediante las modalidades de aplicación

de la composta y el fertilizante, presentó un efecto independiente de aquél causado por los diferentes niveles de composta y fertilizante.

Cuadro 54. Análisis combinado de calcio del suelo entre ambientes

	FV	GL	SC	CM	FC	F 0.05
Ambientes		3	6135.127	2045.042333	15.88618888*	2.79806045
Bloques dentro de localidades		12	1639.165	136.5970833	1.061106184	1.960120954
Tratamientos		4	4864.53425	1216.133563	9.447103938*	2.565244017
Tratamientos x Localidades		12	1950.04175	162.5034792	1.262350868	1.960120954
Error		48	6179.08	128.7308333		
Total		79	20767.948			

Con el análisis de contrastes ortogonales se determinó cuáles ambientes reportan diferencias significativas. Este análisis permitió establecer que todos los ambientes fueron diferentes entre sí (**Cuadro 55**). Aquí destaca el Ambiente 1 sobre los demás con relación con respecto a esta variable.

Cuadro 55. Análisis de contrastes de calcio del suelo entre ambientes

Amb. 1	Amb. 2	Amb. 3	Amb. 4	Zwi	Zwi2	Dw	Zw2/Dw	FC	F 0.05
3	-1	-1	-1	1164.4	1355827	240	5649.3	12304*	4.0426
0	2	-1	-1	199.3	39720.5	120	331	720.91*	4.0426
0	0	1	-1	78.7	6193.69	40	154.84	337.24*	4.0426

Estos resultados destacan que se presentan diferencias significativas entre todos los ambientes. Agronómicamente, esto significa que las aplicaciones en banda, produjeron los mayores efectos; es mayor la concentración de calcio en banda cuando las aplicaciones de composta incluyen fertilizante. Esta situación era de esperarse ya que esta forma de aplicación ha demostrado su eficacia con respecto a aplicaciones al voleo, tanto en el uso de fertilizantes, como de mejoradores del suelo (Dalzell *et al.*, 1991).

Por otra parte, cuando la aplicación de composta se hizo al voleo, la concentración de calcio fue significativamente mayor cuando se aplicó fertilizante. También este hecho es explicable, porque si no se hace uso del mejorador en su forma de aplicación más eficiente, entonces sí se hace apreciable el efecto de la fertilización. (Garland *et al.*, 1995).

Una interpretación adicional, con respecto a la menor eficiencia de la composta aplicada al voleo, es que al estar incorporada en el suelo, se expuso a un mayor ataque de los microorganismos, generando la rápida mineralización de la composta debido a su baja estabilidad, baja relación C:N y tamaño muy fino; en estas condiciones, la composta libera más nutrientes que pueden quedar disponibles a las plantas; aunque hay evidencias de que la mayoría de los

nutrimentos más bien pueden ser absorbidos por los microorganismos del suelo (Gottschall, 1992).

5.4.3 Efecto sobre el rendimiento de grano

En el Cuadro 56 se presentan los rendimientos promedios de grano de los cuatro ambientes.

Cuadro 56. Rendimiento promedio de grano en los ambientes

Grano Promedio t/ha	Ambientes	
	Nº	Descripción
6.57	1.	Composta en banda, sin incorporar y con fertilizante
5.87	2.	Composta en banda, sin incorporar y sin fertilizante
4.72	3.	Composta al voleo, incorporada y con fertilizante
4.97	4.	Composta al voleo incorporada y sin fertilizante

El análisis combinado (Cuadro 57) indica que se tienen diferencias significativas entre ambientes para esta variable.

Cuadro 57. Análisis combinado de grano entre ambientes

	FV	GL	SC	CM	FC	F 0.05
Ambientes		3	43.20817399	14.4027247	31.3685393*	2.79806065
Bloques dentro de localidades		12	8.379791663	0.69831597	1.52090334	1.96012106
Tratamientos		4	42.35001354	10.5875034	23.059145*	2.56524051
Tratamientos x Localidades		12	4.580225564	0.38168546	0.83129517	1.96012106
Error		48	22.03898555	0.45914553		
Total		79	120.5571903			

Los ambientes fueron comparados mediante contrastes ortogonales (Cuadro 58).

Cuadro 58. Análisis de contrastes de grano entre ambientes

Amb. 1	Amb. 2	Amb. 3	Amb. 4	Zwi	Zwi2	Dw	Zw2/Dw	FC	F 0.05
3	-1	-1	-1	82.962	6882.745	240	28.6781	62.4597*	4.0426
0	2	-1	-1	40.822	1666.444	120	13.88704	30.2454*	4.0426
0	0	1	-1	5.0716	25.7214	40	0.643035	1.4005	4.0426

En el análisis de contrastes ortogonales, los ambientes en banda superaron a los ambientes al voleo. En particular destaca el Ambiente 1, el cual sobresalió entre los demás.

Igualmente se observa que la aplicación del 50% de la dosis de fertilizante junto con composta no tuvo un incremento notable al aplicarse al voleo. Posiblemente la composta incorporada al suelo con el fertilizante quedó expuesta al mayor ataque de microorganismos; éstos pudieron acelerar la mineralización y dejar disponibles nutrimentos para las plantas, aunque hay evidencias de que los microorganismos absorben una gran cantidad de estos nutrimentos (Gottschall, 1992).

La menor eficiencia de la composta aplicada al voleo puede deberse también a que su baja estabilidad, baja relación C:N, tamaño muy fino de partículas, condiciones favorables de calor y humedad, propiciaron su rápida descomposición y con ello una limitación en su acción (Kononova, 1982; Dick y McCoy, 1992; Fassbender y Bornemisza, 1994).

5.4.4 Efecto sobre el rendimiento de biomasa

En el Cuadro 59 se presentan los promedios de biomasa de los cuatro ambientes.

Cuadro 59. Rendimiento promedio de biomasa en los ambientes

Biomasa Promedio t/ha	Ambientes	
	Nº	Descripción
15.81	1.	Composta en banda, sin incorporar y con fertilizante
14.18	2.	Composta en banda, sin incorporar y sin fertilizante
14.58	3.	Composta al voleo, incorporada y con fertilizante
12.94	4.	Composta al voleo incorporada y sin fertilizante

En el análisis combinado muestra que existieron efectos significativos entre ambientes, bloques, tratamientos y tratamientos x ambientes (Cuadro 60).

Cuadro 60. Análisis combinado de biomasa entre ambientes

	FV	GL	SC	CM	FC	F0.05
Ambientes		3	84.44136038	28.1471201	61.3032648*	2.79806045
Bloques dentro de localidades		12	22.97139388	1.91428282	4.1692289*	1.96012095
Tratamientos		4	173.449896	43.362474	94.4416769*	2.56524402
Tratamientos x Localidades		12	14.63831622	1.21985968	2.656804*	1.96012095
Error		48	91.70723124	1.91056732		
Total		79	387.2081977			

Los tratamientos se sometieron al análisis de contrastes ortogonales (**Cuadro 61**).

Cuadro 61. Análisis de contrastes de biomasa entre ambientes

Amb. 1	Amb. 2	Amb. 3	Amb. 4	Zwi	Zwi2	Dw	Zw2/Dw	FC	F 0.05
3	-1	-1	-1	115.7447	13396.83	240	55.8201	121.574*	4.042647
0	2	-1	-1	14.57645	212.4729	120	1.77061	3.85631	4.042647
0	0	1	-1	32.77232	1074.025	40	26.8506	58.4795*	4.042647

En cuanto al resultado de la diferencia significativa entre los ambientes, destaca en primer término el Ambiente 1 sobre los demás. Cabe mencionar que la fertilización con el 50% de la dosis tuvo un efecto apreciable cuando se aplicó con la composta en banda y al voleo.

Varios autores consignan que la aplicación de composta con fertilizante es ampliamente recomendable para hacer más eficiente la nutrición vegetal (Shiralipour *et al.*, 1992; Garland *et al.*, 1995; EPA, 1999). Sin embargo, debe aclararse que en la presente investigación, la aplicación de composta al voleo junto con el 50% del fertilizante, no propició efectos notables en el rendimiento de grano.

Por otra parte, se detectó que al comparar el Ambiente 2 contra los Ambientes 3 y 4, no se presentó diferencia significativa; en cambio, en la comparación entre los ambientes 3 y 4, la diferencia sí fue significativa. En otras palabras, aplicando la composta al voleo y 50% de fertilizante se incrementó el rendimiento de biomasa.

Dadas las evidencias de falta de estabilidad de la composta, de acuerdo a los indicadores que presentan varios autores (Gottschall, 1992; EPA, 1994; Scottish Agricultural College, 2001), habría que considerar revisar el proceso de compostaje de la planta procesadora, para mejorar la calidad del producto.

VI. CONCLUSIONES

De acuerdo con los análisis practicados a la composta utilizada, ésta resultó ser un material sin restricciones para uso agrícola, en vista de que la concentración de metales pesados, y las poblaciones de microorganismos patógenos y parásitos, se encontraron dentro de los límites permisibles de la norma ecológica de la SEMARNAT.

La composta no tuvo influencia sobre la densidad aparente y la compactación del suelo, evaluadas doce meses después de la aplicación del mejorador.

De las propiedades químicas del suelo evaluadas, únicamente el calcio y el zinc se incrementaron en todos los ambientes evaluados: 1) Composta en banda con fertilizante; 2) Composta en banda sin fertilizante; 3) Composta al voleo con fertilizante, y 4) Composta al voleo sin fertilizante. El cobre se incrementó sólo en tres de ellos (Ambientes 1,2 y 3).

El rendimiento del grano se incrementó significativamente cuando la aplicación de la composta se hizo en banda. Bajo estas condiciones, el mejor tratamiento fue el que incluyó fertilizante (Ambiente 1).

Al igual que el rendimiento de grano, la biomasa (parte aérea completa) se incrementó significativamente cuando la aplicación de la composta se hizo en banda con fertilizante (Ambiente 1). La aplicación de la composta al voleo con fertilizante (Ambiente 3) produjo más biomasa que la aplicación al voleo sin fertilizante (Ambiente 4).

De acuerdo con los valores absolutos del rendimiento de maíz y los niveles de significancia alcanzados, la aplicación de composta sería una opción viable para reducir los niveles de fertilización, en especial cuando la aplicación de composta se hace al voleo (ambientes 3 y 4).

Los efectos de la aplicación de composta no fueron los esperados, lo que se pudiera atribuir a que el material no estaba suficientemente maduro y además presentaba una textura muy fina, lo que a su vez debió propiciar una rápida mineralización en el suelo.

En todos los ambientes, la aplicación de 30 ton/ha de composta produjo rendimiento en grano significativamente superior con respecto al tratamiento sin composta y sin fertilizante (T1).

BIBLIOGRAFÍA

- Aggelides SM and Londra PA. 2000. Effects of compost produced from town wastes and sewage sludge on the physical properties of a loamy and clay soil. *Bioresource Technology*, 71(3):253-259 Feb.
- Ağca N, M. Aydin, S. Aslan, S. Kiliç, 2001. Effects of compost produced from municipal solid wastes on soils properties and crop yields: changes in soil properties due application of compost. Mustafa Kemal University, Faculty of agriculture, Department of Soil Science, Antakya, Turquía.
- Alatorre Zamora, M.A. y J.O. Campos Enriquez. 1992. La Primavera Caldera (México): Estructura inferred from gravity and hidrological considerations. En: Amezcua Torres, N., 2000. Estudio paleobotánico de la localidad del Bajío en la Caldera de la Sierra La Primavera Jalisco. Tesis de lic. en biología CUCBA Universidad de Guadalajara.
- Altamirano, J 2004. Consulta personal. Gerencia de Comercialización de Caabsa Eagle, S.A. de Guadalajara.
- Base Aérea Militar N° 5, 2006. Consulta personal en la estación meteorológica de la Fuerza Aérea Mexicana ubicada en Zapopan, Jal..
- Brady, N.C. 1984. The nature and properties of soils. 9th ed. Macmillan Publishing Company, New York. 639 pp.
- Brady N.C. and R.R. Weil, 1996. The nature and properties of soils. 11th ed. Prentice Hall Inc, New Jersey. 740 pp.
- Bresson, LM *et al.* 2001. Soil surface stabilization by municipal waste compost application. *Soil Science Society of America Journal*, 65(6):1804-1811 Nov-Dec.
- Brinton, W.F. & R.B. Brinton, 1992. MSW composting: Old story, new challenges. MSW Composting Report, Wood End Research. Based on a revised lecture presented at Washington State University.
- Cooperband, L. (2002). The art and science of composting: A resource for farmers and compost producers. Manual of the Center for Integrated Agricultural Systems, University of Wisconsin-Madison, pp 1.
- Daniels, L. y Miramontes-Lau, E.A., 1992. Manual de interpretaciones de suelos para usos diversos. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. CNA. México.
- Dalzell, H.W., A.J. Bidllestone, K.R. Gray, K. Thurairajan. 1991. Manejo del suelo; Producción y uso del composte en ambientes tropicales y subtropicales. *Boletín Suelos de la FAO*, Roma. 178 pp.
- Deutsche Bundesstiftung Umwelt, 2003. Nachhaltige Kompostierung in der Landwirtschaft. Abschlussbericht, Osnabrück.
- Diaz L.F., G.M. Savage, L.L. Eggerth, C.G. Goulueke, 1993. Composting and recycling municipal solid wastes. Lewis Publishers, Florida. 296 pp.
- Dick, W.A. and E.L. McCoy. 1992. Enhancing soil fertility by addition of compost: En: Hoitink, H.A. & H.M. Keener. 1993. Science and engineering of composting: Design, environmental and utilization aspects. Ohio Agricultural Research and Development Center, Ohio State University, pp. 623, 633.

- Dunst, G. 1997. Kompostierung: Anleitung für Hausgarten, bäuerliche und kommunalen Bereich [Compostaje: Introducción para jardinería doméstica y para la agricultura rural]. 3. Auflage. Leopold Stocker Verlag. S. 83, 104. Austria.
- Enkelmann R., Völkel R., 1982. Einsatz von Müllklärschlammkompost und Müllkompost in Weinbau. En: De Bertoldi, M., M.P. Ferranti, P. L'Hermite, F. Zucconi (eds). 1997. Compost Production, Quality and Use. Elsevier Applied Science Publishers, LTD, pg.537.
- EPA, 1994. Organic materials management strategies. EPA 530-R-99-016. July.
- EPA, 1994. Composting yard trimming and municipal solid wastes. Manual of the Office of Solid Waste and Emergency Response. pp. 47.
- EPA), 1998. Characterization of Municipal Solid Wastes in the United States; en: Stoffela, P.J. & B.A. Kahn ed., 2001. Compost utilization in horticultural cropping systems. Lewis Publishers , U.S.A. pp.10.
- Fassbender, Hans W., 1975. Química de suelos: Con énfasis en suelos de América Latina. Editorial IICA, Costa Rica.
- Fassbender, H.W. y E. Bornemisza. 1994. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. 2ª ed. IICA, San José de Costa Rica, pp 72-73.
- Fricke K., W. Pertl and H. Vogtmann, 1989. Technology and undesirable components on compost of separately collected organic wastes. Agriculture, Ecosystems and Environment, 27: 464-469. Elsevier Science Publishers.
- FAO, 1986. World Soil Resources. Report 60. Traducción: Colegio de Posgraduados (1990). Montecillos, México.
- Fuchs, J.G., M. Bieri, M. Chardonens (eds.). 2005. Auswirkungen von Komposten und von Gärgut auf die Umwelt, die Bodenfruchtbarkeit, sowie die Pflanzengesundheit [Efectos de las compostas y fermentos de estiércoles en el ambiente, la fertilidad del suelo y la sanidad de las plantas]. FiBL, Suisse.
- Gallardo-Lara and R. Nogales, 1987. Effect of the application of town refuse compost on the soil-plant system: A review. J of Biological Wastes, Vol. 19, Iss. 1, pages 35-62
- Garland, G.A., T.A. Grist, R. Green, 1995. The compost story: From soil enrichment to pollution remediation, BioCycle Emmaus. Vol.: 36, Iss. 10; pg. 53, 4 pgs.
- Glenn, J. and D. Block. 1999. MSW composting in the United States; en: Stoffela, P.J. & B.A. Kahn ed., 2001. Compost utilization in horticultural cropping systems. Lewis Publishers , U.S.A. pp.10.
- González del Carpio, C., 1998. Composting has promising future in México City. Dec. Vol.: 39, Iss; pg. 76, 2 pgs.
- Gonzalez, Christian and Jose J. Morales, 2002. Hard times or promising future for composting in México?. BioCycle. Emmaus: Feb. Vol. 93. Iss. 2; p. 74 (2 pages).
- Gonzalez, R.F. and L.R. Cooperband, 2002. Compost effects on soil physical properties and field nursery production. Compost Science & Utilization; Summer; Vol. 10, N° 3; 226-237.
- Gottschal, R. 1992. Kompostierung: Optimale Aufbereitung and Verwendung organischer Materialien im ökologischen Landbau. 5. Auflage. Stiftung Ökologie und Landbau. Verlag C.F. Müller Karlsruhe. pp. 15, 165

- Hadas A., Portnoy R. 1997. Rates of decomposition in soil and release of available nitrogen from cattle manure and municipal waste compost. En: Eriksen G., F.J. Coale, G.A. Bollero. 1999. Soil nitrogen dynamics and maize production in municipal solid waste amended soil. *Agronomy Journal* 91: 1009-1016.
- Hangen, H.O. 1991. Betriebserfahrungen mit dem Kosmpostwerk Bad Kreuznach, (Experiencias del funcionamiento de la planta de producción de composta de Bad Kreuznach) en: "Umsetzung neuer Abfallwirtschaftskonzepte", proceeding de conferencia, Marzo 4-6, 1991, Münster, pp 290-295. (see Brinton&Brinton)
- Herando, S., MC Lobo and A. Polo. 1989. Effect of the application of municipal refuse compost on the physical and chemical properties of a soil. *Sci. Total Environ.* 81/82:589-596 En: McConnell et al, 1993. Compost application improves soil properties. *Biocycle* Vol. 34, Iss. 4; pg. 61.
- Hortensine, C.C. and D.F. Rothwell. 1973. Pelletized municipal refuse compost as a soil amendment and nutrient source for sorghum. *J. Environ. Qual.* 2(3):343-344 En: McConnell et al, 1993. Compost application improves soil properties. *Biocycle* Vol. 34, Iss. 4; pg. 61.
- Ibarra Castillo, D., 2005. Identificación de variables edáficas limitantes para la agricultura de Zapopan mediante la aplicación de SIG. Tesis de Maestría, Posgrado en Cs. Agrícolas y Forestales, CUCBA-Universidad de Guadalajara.
- INEGI, 1975. Carta edafológica: Guadalajara Oeste F13D35. Escala 1:50,000. México.
- INEGI, 2003. Carta topográfica: Guadalajara Oeste F13D35. 3ª Ed. Escala 1:50,000. México.
- Kämpfer, P. und Weissenfels, W.D. Hrsg. 2001. Biologische Behandlung organischer Abfälle [Manejo biológico de residuos orgánicos]. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, S. 4.
- Kolota, E. and A., Biesiada (1999). Suitability of municipal solid waste compost at different stages of maturity in vegetable crop production. *Proceeding of the International Workshop on Ecological Aspects of vegetable fertilization in integrated crop production in the field*, (506): 187-192.
- Kononova, M.M. 1982. Matreia orgánica del suelo: Su naturaleza propiedades y métodos de investigación. Ed. Oikos-Tau, S.A., España. pp 165, 167, 307.
- Khalilian, A, Williamson RE, Sullivan MJ, Mueller JD, Wolak, FJ, Lippert RM, Shiralipour A. 2002. Effects of surface application of MSW compost on cotton production - Soil properties, plant responses, and nematode management. *Compost Science & Utilization*, 10(3):270-279 SUM
- López-Martínez J.D., A. Díaz Estrada, E Martínez Rubin y R. Valdez Zepeda, 2001. Abonos orgánicos y su efecto en propiedades físicas y químicas de suelo y rendimiento en maíz. *Revista Terra, Colegio de Posgraduados*, Vol. 19: 293-299.
- Mahood, G. 1980. Geological evolution of a pleistocene rhyolitic center: Sierra la Primavera, Mexico. En: Amezcua Torres, N., 2000. Estudio paleobotánico de la localidad del Bajío en la Caldera de la Sierra La Primavera Jalisco. Tesis de lic. en biología CUCBA Universidad de Guadalajara.

- Mamo, M., C.J. Rosen, T.R. Halbach and J.F. Moncrief. 1998. Corn yield and nitrogen up take in sandy soils amended with municipal solid waste compost. En: Wolkowski, R.P. (2003) Nitrogen management consideration for landspreading MSW compost. J. Environ. Quality. Sep/Oct, Vol. 32, Iss. 5; pg. 1844.
- Mamo, M., C.J. Rosen, T.R. Halbach. 1999. Nitrogen availability and leaching from soil amended with municipal solid waste compost. J. of Environmental Quality; Madison; Jul/Aug. Vol. 28, Iss. 4, pg 1074
- Mamo, H *et al.* 2000. The effect of municipal solid waste compost application on soil water and water stress in irrigated compost. Compost Science and Utilization, 8(3):236-246.
- Mamo, M., T.R. Halbach and C.J. Rosen. 2002. Utilization of municipal solid waste compost in crop production. Extension Service, University of Minnesota. www.extension.umn.edu/distribution/naturalresources/DD083.html pg 2
- McConnell, Dennis B, Shiralipour, Aziz, Smith, Wayne H. 1993. Compost application improves soil properties. BioCycle. Emmaus: Apr. Vol. 34, Iss. 4; pp 61, 3 pgs.
- Martínez F., G Cuevas, R. Calvo and I. Walter. 2003. Biowaste effects on soil and native plants in a semiarid ecosystem. J. of Environmental Quality 32 N° 2, 472-9.
- Martínez Garza, A., 1988. Diseños Experimentales: Métodos y elementos de teoría. Editorial Trillas, México. 755 pp
- Martínez Meza, E. 1975. El compost, su valor como material orgánico y la importancia de su aplicación en suelos agrícolas. Tesis de licenciatura. Escuela de Agricultura de la Universidad de Guadalajara.
- Mays, D.A., G.L. Terman and J.C. Duggan. 1973. Municipal compost: Effects o crop yields and soil properties. En: Wolkowski, R.P. (2003) Nitrogen management consideration for landspreading MSW compost. J. Environ. Quality. Sep/Oct, Vol. 32, Iss. 5; pg. 1844.
- Maynard, A.A, and D.E. Hill. 1994. Impact of compost on vegetable yields. En: EPA (U.S. Environmental Protection Agency), 1994. Organic Materials Management Strategies. EPA 530-R-99-016. July.
- Maynard, A.A. 1995. Cumulative effects of annual additions of MSW compost on the yield of field-grown tomatoes. Compost Science & Utilization. Vol. 3, N° 2, pp. 47-54.
- McConnell, Dennis B., Shiralipour, Aziz, Smith, Wayne H. 1993. Compost application improves soils properties. BioCycle Emmaus: Apr. Vol. 34, Iss.4; pg. 61, 3 pgs
- Navarro Fariás, E. 1994. Física de suelos con enfoque agrícola. Ed. Trillas, S.A., México. pp. 195.
- Ortiz Villanueva, B. Y Ortiz Solorio, C. 1990. Edafología. 7ª ed. Universidad Autónoma de Chapingo, Departamento de Suelos. 394 pp.
- Porta, J., M. López Acevedo, C. Roquero, 1999. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. 2ª Ed. Mundi-Prensa Libros, S.A. España.. 717 pp.

- Ruiz C., J.A. Gonzalez A., J. Anguiano C., Vizcaíno V., D. Ibarra C., J. Alcalá G., S. Espinoza V. y Flo, 2003. Estadísticas climatológicas básicas para el estado de Jalisco (Período 1962-2000) INIFAP-CIRPAC Libro Técnico N° 1. México.
- Rynk, R. (Ed). 1992. On-farm composting handbook. Natural Resource, Agriculture, and Engineering Service (NRAES), Ithaca, NY.
- Sánchez L., J.A. Diez, A. Plo, R. Roman. 1997. Effect on timing of application of municipal solid waste compost on N availability for crops in central Spain. En: Eriksen G., F.J. Coale, G.A. Bollero. 1999. Soil nitrogen dynamics and maize production in municipal solid waste amended soil. *Agronomy Journal* 91: 1009-1016.
- Secretaría de Industria y Comercio, 1972. Norma Oficial de Muestreo para materiales pulverulentos o granulados NOM K-368-1972. Dirección General de Normas. México.
- Shiralipour, A. *et al.*, 1992), Science and Engineering of Compost. En: Scottish Agricultural College. (2001). Use of Compost in Agriculture. Frequently asked questions prepared for Recycling Market Development Scotland. www.sac.ac.uk pg. 11.
- SMCS, 1984. Análisis químico para evaluar la fertilidad del suelo. Publicación especial N° 1, Chapingo, México.
- Schmitz y Fischer, 2002. Absenkung des pH-Werts von Komposten En: Zentralverband Gartenbau e.V., 2002. Handbuch Kompost im Garten, FGG. Förderungsgesellschaft Gartenbau mbH. Bonn. S. 222-224.
- Secretaría de Industria y Comercio, 1972. NOM K-368-1972. Norma Oficial de Muestreo para Materiales o granulados. Dirección General de Normas. Depto. de Normalización.
- Scottish Agricultural College. (2001). Use of Compost in Agriculture. Frequently asked questions prepared for Recycling Market Development Scotland. www.sac.ac.uk pg. 4
- Stoffela, P.J. & B.A. Kahn ed., 2001. Compost utilization in horticultural cropping systems. Lewis Publishers , U.S.A. pp.18, 20-22, 291
- SPP, 1981. Síntesis Geográfica de Jalisco. México, D.F.
- Tisdale S.L., W.L. Nelson, J.D. Beaton and J.L. Havlin. 1993. Soil fertility and fertilizers. 5th edition. Prentice may, Inc. pag. 229.
- Thompson, W.H. (ed). 2001. Test Methods for the examination of composting and compost. USDA-Composting Council.
- Universidad de Guadalajara. 1994. Programa de Manejo del Bosque La Primavera, Jalisco, México.
- Waste & Resources Action Program (2004). Using Compost in Agriculture and field Horticulture. Compost Information Package 1. www.wrap.org.uk
- Wiemer, K. 1992. Stand und Perspektiven der Bioabfallkompostierung in der Bundesrepublik Deutschland (Estado actual y perspectivas del compostaje de desechos orgánicos en Alemania), en: Gütesicherung und Vermarktung von Bioabfallkompost, Wiemer, K. Y Kern, M. editores M.I.C. Baeza Verlag, Witzenhausen, 1992, pp 33-52.
- Wolf, B. and G.H. Snyder, 2003. Sustainable Soils: The place of organic matter in sustaining soils and their productivity. Food Products Press, New York. pp 25, 31, 185.

- Wolkowski, R.P. 1993. Nitrogen management considerations for landspreading municipal solid waste compost. *Journal of Environmental Quality*. Madison: Sep/Oct. Vol.32, Iss.5; pg. 1844
- Woodbury, P.B. 1993. Potencial effects of heavy metals in municipal solid waste compost on plants and the environmental. *MSW Composting Fact Sheet Series N° 4*, Cornell Waste Management Institute. Ithaca, NY.
- Zibilske, L.m., W.M. Clapham and R.V. Rourke. 2000. Multiple applications of paper mill sludge in an agricultural system. En: Gonzalez, R.F. & L.R. Cooperband, 2002. *Compost effects on soil physical properties and field nursery production*. *Compost Science & Utilization*; Summer; Vol. 10, N° 3; 226-237.
- Zucconi, F. and M. de Bertoldi. 1987. Compost specifications for the production and characterization of compost from municipal solid waste. En: De Bertoldi, M., M.P. Ferranti, P. L'Hermitte, F. Zucconi (eds). 1997. *Compost Production, Quality and Use*. Elsevier Applied Science Publishers, LTD, 833 pp.